

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

Escuela Profesional de Ingeniería Química.



**“ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA OBTENCION DE
CEMENTO HIDRAULICO A PARTIR DEL CEMENTO PORTLAND Y
LA CASCARA DE ARROZ”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

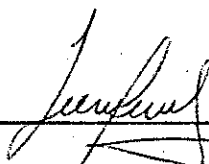
PRESENTA:

MARILIA LOURDES MORENO MARIN

PIURA – PERÚ

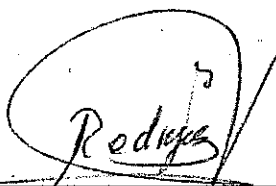
2015

**“ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA OBTENCION DE
CEMENTO HIDRAULICO A PARTIR DEL CEMENTO PORTLAND Y
LA CASCARA DE ARROZ”**



Br. Moreno Marín Marilia Lourdes

Ejecutor de Tesis



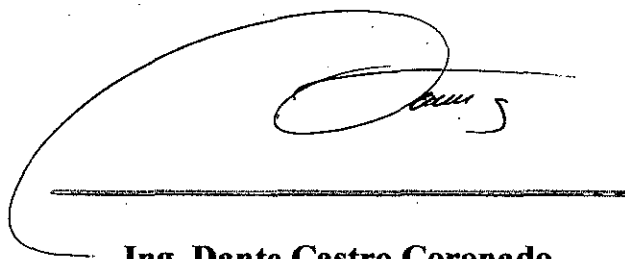
Ing. Claudio Rodríguez Gómez

Asesor

Los miembros del jurado designados para evaluar la tesis presentada por la Bachiller Marilia Lourdes Moreno Marín, titulada:

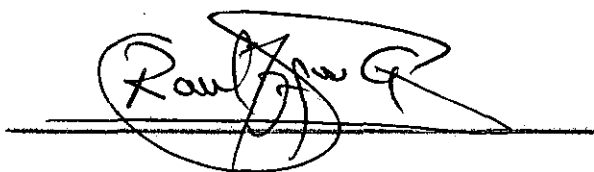
“Estudio técnico económico para la obtención del cemento hidráulico a partir del cemento portland y la cáscara de arroz”

Considera que la misma cumple con los requisitos exigidos para alcanzar al Título de Ingeniero Químico.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dante', is written over a horizontal line.

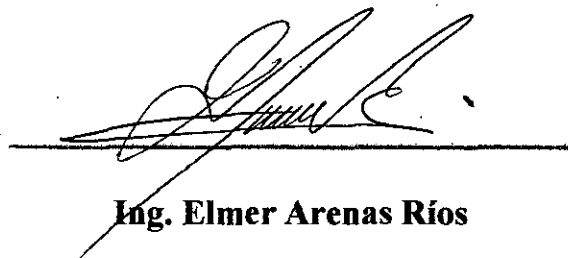
Ing. Dante Castro Coronado

Presidente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Raúl', is written over a horizontal line.

Ing. Raúl Izquierdo González

Secretario

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Elmer', is written over a horizontal line.

Ing. Elmer Arenas Ríos

Vocal

AGRADECIMIENTO

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como es el desarrollo de una tesis es inevitable no agradecer aquellas personas que han facilitado las cosas, para que este trabajo llegue a un feliz término.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Bruno Chunga Purizaca por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo ha sido un aporte importante, no sólo en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como profesional.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Dante Castro Coronado por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar que su participación ha enriquecido el trabajo realizado.

Y también agradecer al Ing. Claudio Rodríguez Gómez por haber aceptado a apoyarme como asesor de esta tesis y poder concluir satisfactoriamente el desarrollo de la misma.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. A mi madre Aura Marín, a mi abuelita Félix María, a mis hermanos Renzo y Williams. A mis amigos gracias por apoyo y aporte. A Yan por cariño y paciencia en este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	1
Objetivo principal:.....	1
Objetivos específicos:.....	1

CAPITULO I: ESTUDIO DE MERCADO

1.1 PRODUCTO: USOS ÚLTIMOS:	4
1.1.1.- Historia del cemento.....	4
1.1.1.1 Antecedentes.....	5
1.1.1.2 Historia del cemento Portland.....	6
1.1.1.3 Historia del cemento en el Perú.....	11
1.1.2 Cemento hidráulico:.....	13
1.1.2.1 Clasificación y tipología.....	13
1.1.2.2 Características fisico-químicas:.....	15
1.1.2.3 Cementos con características especiales	16
1. Cementos resistentes a los sulfatos de suelos y terrenos	17
2. Cementos resistentes al agua de mar:	17
1.1.2.4 Cementos para usos especiales.....	18
1.1.2.5 Exigencias físicas y mecánicas	20
1.1.2.6 Exigencias químicas:.....	21
1.1.2.7.- Propiedades físicas y mecánicas del cemento hidráulico:	21
1.1.3 Usos últimos del cemento hidráulico.....	27
1.2.- PRODUCTOS COMPETITIVOS:.....	28
1.3.- ANALISIS DE LA DEMANDA:	29
1.3.1 Importaciones.....	29
1.3.2 Exportaciones.....	30
1.3.3 Demanda Nacional aparente	31
1.3.4 Demanda proyectada.....	32
1.3.4.1 Tasa de crecimiento.....	32
1.3.4.2.- Razón del aumento promedio/ consumo promedio	33

1.3.4.3.- Por mínimos cuadrados.....	33
1.4.- ANÁLISIS DE LA OFERTA	35
1.4.1 Capacidad industrial instalada	36
1.4.2 Producción	37
1.4.3 Proyección de la oferta	37
1.5.- COMPARACIÓN ENTRE CAPACIDAD INSTALADA, OFERTA Y DEMANDA PROYECTADA:	38
1.5.1 Capacidad instalada	38
1.5.2 Oferta proyectada.....	38
1.5.3 Demanda proyectada.....	38
1.6.- PRECIO DEL PRODUCTO:	38
1.7.- REQUERIMIENTO DE MATERIA PRIMA.....	39
1.7.1 Piedra caliza.....	39
1.7.1.1 Propiedades físicas	41
1.7.1.2 Aplicaciones.....	43
1.7.2 Arcilla	44
1.7.2.1 Propiedades fisico-químicas.....	45
1.7.2.2 Aplicaciones de la arcilla	49
1.7.3 Ceniza de la cáscara de arroz	49
1.7.3.1 Cenizas volantes.....	50
1.7.3.2 Escorias molidas de alto horno.....	50
1.7.3.3 Humo de sílice.....	50
1.7.3.4 Puzolanas naturales	50
1.8.- INSUMOS MANEJADOS EN EL PROCESO	52
1.8.1 Yeso	52
1.8.1.1 Propiedades del yeso	52
1.8.2 Energía.....	53
1.8.3 Agua.....	54

CAPITULO II: LOCALIZACION DE LA PLANTA

2.1.- FACTORES MÁS IMPORTANTES Y LUGARES MÁS FACTIBLES	56
2.2.- SUMINISTRO DE MATERIA PRIMA	57
2.2.1 Tumbes.....	57
2.2.2 Piura	60
2.2.3 Chiclayo	62
2.3.- ACCESIBILIDAD DE LOS MERCADOS	64
2.3.1 Piura	64
2.3.2 Tumbes.....	64
2.3.3 Chiclayo	64
2.4.- SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	65
2.4.1 Piura	65
2.4.2 Tumbes.....	66
2.4.3 Chiclayo	66
2.5.- SUMINISTRO DE AGUA	67
2.5.1 Piura	67
2.5.2 Tumbes.....	68
2.5.3 Chiclayo	69
2.6.- SUMINISTRO DE TRANSPORTE	70
2.6.1 Piura	70
2.6.2 Tumbes.....	71
2.6.3 Chiclayo	72
2.7.- DISPOSICION DE MANO DE OBRA.....	73
2.7.1 Piura	73
2.7.2 Tumbes.....	73
2.7.3 Chiclayo	74
2.8.- LEYES REGULADORAS.....	75
2.9.- CLIMA.....	76
2.9.1 Piura	76
2.9.2 Tumbes.....	77
2.9.3 Chiclayo	78

2.10.- DISPOSICION DE DESPERDICIOS Y/O SUBPRODUCTOS.....	78
2.10.1 Piura.....	78
2.10.2 Tumbes.....	79
2.10.3 Chiclayo.....	80
2.11.- EVALUACION POR EL METODO DE FACTORES DE BALANCEO.....	81

CAPITULO III: TECNOLOGIA Y SELECCIÓN DEL PROCESO

3.1.- PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO:	83
3.1.1 Extracción de las materias primas.....	84
3.1.2 Trituración	84
3.1.3 Preparación de las materias primas.....	85
3.1.3.1 Vía seca	85
3.1.3.2 Vía húmeda	86
3.1.4 Molienda.....	86
3.1.4.1 Vía húmeda	88
3.1.5 Homogenización	93
3.1.5.3 Proceso por vía semi-húmeda	95
3.1.6 Secado.....	97
3.1.6.1 Eliminación de agua en las pastas.....	99
3.1.6.2 Tipos de secador.....	101
3.1.7 Hornos de pre-calcinación	102
3.1.7.1 Eliminación del agua en intercambiadores de calor internos (en el interior del horno)	103
3.1.8 Proceso de clinkerización	110
3.1.9 Molienda del producto calcinado.....	111
3.1.10 Adición de la puzolana	112
1.a.- Ceniza de la cáscara de arroz obtenida mediante un quemado controlado	113
3.1.11 Almacenamiento del cemento hidráulico.....	113
3.2.- CEMENTO HIDRAULICO.....	114

CAPITULO IV: CALCULO DE INGENIERIA QUIMICA

4.1.- DESCRIPCION DETALLADA DEL PROCESO.....	116
4.2.- MECANISMOS DE REACCION	117
4.3.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCION DE CEMENTO HIDRAULICO	121
4.4.- DIAGRAMA DE EQUIPOS DEL PROCESO DE OBTENCION DE CEMENTO HIDRAULICO	122
4.5.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE OBTENCION DE CEMENTO HIDRAULICO	123
4.6.- BALANCE DE MATERIA	124
4.6.1.- Balance de materia de la cáscara de arroz	124
4.6.2.- Balance de materia del cemento Portland.....	129
4.7.- BALANCE DE ENERGIA	144
4.7.1.- Balance de energía de la cáscara de arroz	144
4.7.2.- Balance de energía del cemento Portland.....	148

CAPITULO V: DISEÑO DE EQUIPOS DEL PROCESO

5.1.- DISEÑO DE LOS EQUIPOS PRICIPALES.....	165
5.1.1 Diseño y cálculo de una trituradora de mandíbula para la piedra caliza	165
5.1.1.1.- Tamaño de la alimentación. Método de explotación y equipo de cantera	167
5.1.1.2.- Capacidad promedio de producción requerida	167
5.1.1.3.- Características del material a triturar	168
5.1.1.4.- Granulometría y forma de los trozos del material triturado (Tamaño de alimentación a molinos)	168
5.1.1.5.- Inversión inicial	168
5.1.1.6.- Grado de reducción	168
5.1.1.7.- Etapas de trituración	169
5.1.1.8.- Trituradora de mandíbula.....	170
5.1.1.10.- Diseño y cálculo de una trituradora de mandíbula.....	173
1.- Velocidad angular, número de vueltas en la unidad de tiempo	173
2.- Capacidad de producción	174
3.- Energía para el accionamiento	175

5.1.2.- Diseño y cálculo de un molino de bolas para arcilla y cemento hidráulico	176
5.1.2.1.- Fundamento teórico	176
5.1.2.2.- Movimiento de la carga en molinos.....	177
5.1.2.3.- Partes principales de un molino	178
5.1.2.4.- Diseño y cálculo del molino de bolas	181
1.- Velocidad de rotación crítica	181
2.- Angulo de elevación de las bolas de molienda	182
3.- Distribución de los cuerpos moledores en la sección del molino	183
4.- Número de choques de las bolas por vuelta.....	183
5.- Número de choques de las bolas contra el material	183
6.- Llenado de bolas en los molinos.....	184
7.- Carga total de cuerpos moledores	185
8.- Indicaciones para el llenado de los molinos	186
9.- Llenado de cuerpos moledores y de material que se ha de moler.....	187
10.- Llenado del molino con cuerpos moledores	188
11.- Fórmulas para el tamaño de las bolas de molturación	192
12.- Índice del trabajo de molienda según Bond.....	192
13.- Índice de molturabilidad de Hardgrove	193
14.- Fórmula de Starke.....	194
15.- Potencia exigida por los molinos	195
16.- Superficie específica y tamaño de grano (por la ecuación de Bond).....	196
17.- Caudal de los molinos de bolas.....	197
18.- Dureza de las bolas para molienda, de acero aleado, forjadas.....	203
19.- Desgaste del material metálico en la molienda.....	204
20.- Desgaste de las bolas para molienda.....	205
21.- Material Ni-Hard en la molienda	207
22.- Velocidad lineal de desgaste del acero al cromo-molibdeno/hora de molienda en μm	208
5.1.3.- Diseño y cálculo del horno rotatorio para la elaboración de Clínter	211
5.1.3.1.- Descripción del funcionamiento del horno rotatorio que usa combustible para generar calor.....	212

5.1.3.2.- La llama como manifestación visible de la combustión	215
5.1.3.3.- Formación de llama y gasodinámica de la combustión	224
5.1.3.4.- La función química del aire en la combustión	228
5.1.3.5.- Pre-calentador del crudo en suspensión de gases	230
5.1.3.6.- Horno rotatorio.....	232
5.1.3.7.- Revestimiento interno del horno.....	237
5.1.3.8.- Diseño y cálculo de los ciclones como sistema de pre – calcinación	245
1.- Cálculo del diámetro	247
2.- Altura y ancho de entrada	249
3.- Altura de salida	250
4.- Diámetro de salida	250
5.- Altura parte cilíndrica	251
6.- Altura parte cónica.....	252
7.- Altura total del ciclón.....	253
8.- Diámetro de salida de partículas	254
9.- Caudal de la corriente de aire.....	254
10.- Velocidad equivalente.....	254
11.- Velocidad de saltación	255
12.- Factor de configuración	257
13.- Volumen del ciclón evaluado sobre la salida.....	257
14.- Longitud natural del ciclón	258
15.- Factor de dimensiones lineales	259
16.- Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural.....	261
17.- Factor dimensional de las proporciones volumétricas	262
18.- Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón	263
19.- Relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón	264
20.- Exponente del vórtice	264
21.- Tiempo de relajación.....	265
22.- Eficiencia fraccional por intervalo de trabajo	265
23.- Caída de presión.....	266
24.- Intercambiador de ciclones	267

25.- Cálculo de las tuberías	272
26.- Refractario del intercambiador de ciclones.....	272
5.1.3.9.- Diseño y cálculo del horno rotatorio.....	273
1.- Cálculo del diámetro del horno.....	273
2.- Cálculo del diámetro exterior.....	274
3.- Longitud del horno.....	274
4.- Pendiente del horno y grado de llenado.....	274
5.- Velocidad angular (nº de vueltas al horno).....	275
6.- Velocidad del material dentro del horno.....	276
7.- Tiempo de permanencia.....	276
8.- Sistema de accionamiento del horno rotatorio.....	277
9.- Enfriadores del Clinker.....	282
5.1.4.- Diseño y cálculo del horno para calcinar cáscara de arroz.....	285
5.1.4.1.- Descripción de un horno piloto.....	285
5.2.- DISEÑO DE LOS EQUIPOS SECUNDARIOS	287
5.2.1.- Diseño y cálculo de un filtro prensa.....	287
5.2.1.1.- Descripción del funcionamiento del filtro prensa.....	287
5.2.1.2.- Construcción convencional de un filtro prensa.....	289
5.2.1.3.- Placas filtrantes y telas.....	290
5.2.1.4.- Medio filtrante	291
5.2.1.5.- Control y mantenimiento	291
5.2.1.6.- Diseño y cálculo de un filtro prensa	292
1.- Velocidad de filtración.....	292
2.- Área neta de filtración.....	295
3.- Número de placas.....	296
4.- Determinación de la caída de presión	296
5.2.2.- Diseño y cálculo de una bomba.....	298
5.2.2.1.- Descripción del funcionamiento de la bomba.....	298
1.- Bombas rotodinámicas.....	298
5.2.2.2.- Factores que se debe considerar al seleccionar un equipo de bombeo	299
5.2.2.3.- Diseño y cálculo de la bomba.....	305

1.- Cálculo del diámetro económico	305
2.- Pérdida de carga en las líneas	305
3.- Determinación de la resistencia	309
4.- Altura dinámica de bombeo	310
5.- Potencia de consumo.....	311
6.- Potencia instalada.....	311
7.- Obtención de la cavitación.....	312

CAPITULO VI CONTROL DE CALIDAD

6.1.- CONTROL DE CALIDAD EN LA MOLIENDA DE LAS MATERIAS PRIMAS	315
6.1.1.- NTP-400.012:2001 Agregado granulométrico.....	316
6.1.1.1.-Balanzas	316
6.1.1.2.- Tamices.....	316
6.1.1.3.- Agitador Mecánico de Tamices	316
6.1.1.4.- Horno	317
6.1.1.5.- Muestreo	317
6.1.1.6.- Agregado fino.....	317
6.1.1.7.- Agregado grueso	317
6.1.2.- NTP 350.001:1970 Requisitos de los tamices.....	318
6.1.2.1.- Procedimiento de ensayo	318
6.1.3.- Controles de calidad en los diferentes puntos de molienda.....	320
6.1.3.1.- Control de calidad en la planta de trituración de la caliza.....	320
6.1.3.2.- Control de calidad en la planta de trituración de la arcilla	321
6.1.3.3.- Control de calidad en el mezclador de las materias primas	321
6.1.3.4.- Control de calidad en el molino.....	321
6.2.- CONTROL DE CALIDAD EN EL FILTRO PRENSA	323
6.3.- CONTROL DE CALIDAD EN EL PRE-HORNO (4 CICLONES).....	323
6.4.- CONTROL DE CALIDAD EN EL HORNO	323
6.5.- CONTROL EN EL ENFRIADO DEL CLÍNKER	324
6.6.- CONTROL DE CALIDAD EN EL HORNO PARA LA CASCARA DE ARROZ	324
6.7.- CONTROL EN EL ENFRIADO DE LA CENIZA DE LA CASCARA DE ARROZ.....	324

6.8.- CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL	324
---	-----

CAPITULO VII: EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

7.1.- INVERSIONES Y FINANCIAMIENTO	327
7.1.1.- Inversiones.....	327
7.1.2.- Financiamiento	328
7.1.2.1.- Según su plazo de vencimiento.....	329
7.1.2.2.- Según su procedencia:.....	329
7.1.2.3.- Según los propietarios:.....	329
7.2.- COSTO DE ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO.....	329
7.2.1.- Perfil o gran visión.....	330
7.2.1.1.- Idea del proyecto.....	330
7.2.1.2.- Análisis del entorno	330
7.2.1.3.- Detección de necesidades	331
7.2.1.4.- Análisis de oportunidades.....	331
7.2.2.- Factibilidad o anteproyecto	331
7.2.2.1.- Definición conceptual del proyecto.....	331
7.2.2.2.- Estudio del proyecto	331
7.2.2.3.- Evaluación del proyecto.....	332
7.3.- COSTO DE PUESTA EN MARCHA	334
7.4.- COSTO DE PRODUCCION	336
7.4.1.- Costos fijos.....	336
7.4.2.- Costos variables.....	336
7.4.3.- Costos totales.....	336
7.5.- CAPITAL DE TRABAJO.....	336
7.5.1.- Clasificación de activos y pasivos.....	337
7.5.1.1.- Activos	337
7.5.1.2.- Pasivos	340
7.6.- PLAN DE INVERSION	341
7.7.- CRONOGRAMA DE EJECUCION DE PROYECTOS:	342
7.8.- PRESUPUESTOS DE GASTOS E INGRESOS	343

7.9.- ANALISIS FINANCIERO	344
---------------------------------	-----

CAPITULO VIII: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

8.1.- NORMAS TECNICAS	351
8.1.1.- D.S.42-F Reglamento de seguridad industrial	351
8.1.2.- D.S.048-82-ITI/IND Compendio de normas.....	351
8.1.3.- D.S.014-92-EM Ley general de minería	351
8.1.4.- R.D.113-2000-EM/DG Manipulación de sustancias peligrosas.....	352
8.1.5.- R.D.134-2000-EM/EGM Plan de contingencia de sustancias peligrosas	352
8.1.6.- R.D.128-2001-EM/DGM Fiscalización de las normas de seguridad	355
8.1.7.- D.S.055-2010-EM Reglamento de seguridad y salud ocupacional.....	355
8.1.8.- R.M.161-2007-MEM/DM Reglamento de seguridad de actividades electricas.....	355
8.1.9.- D.S.021-2008-MTC Reglamento nacional de transporte de residuos peligrosos	361
8.1.10.- D.S.003-98-SA Normas técnicas de seguro	362
8.1.11.- DIRECTIVA 010-GG-ESSALUD-99	362
8.1.12.- D.S.066-2007-PCM Inspecciones técnicas de defensa civil	362
8.1.13.- NTP ISO 9612: 2010 Exposición al ruido laboral.....	362
8.1.14.- NTP 399.012:1974 Identificación de tuberías.....	363
8.1.15.- NTP 399.009:1974 Colores de seguridad.....	363
8.1.16.- NTP ISO 20345:2008 Equipos de protección personal.....	363
8.1.17.- NTP 399.018:1974 Casco de seguridad de uso industrial.....	363
8.1.18.- NTP 399.046:1977 Gafas de seguridad.....	364
8.1.19.- NTP 399.047:1977 Arnéses de seguridad	364
8.1.20.- NTP 350.021:2012 Clasificación de los fuegos	364
8.1.21.- NTP 350.062:2012 Extintores portátiles	365
8.2.- TECNICAS DE SEGURIDAD	365
8.2.1.- Identificación de los peligros.....	365
8.2.2.- Medidas de lucha contra incendios.....	367
8.2.3.- Medidas en caso de vertido accidental	367
8.2.4.- Métodos de limpieza, manipulación y almacenamiento.....	368
8.2.5.- Controles de la exposición.....	369

8.2.6.- Propiedades físicas y químicas	370
8.3.- IDENTIFICACION Y EVALUACION DE RIESGOS	373
8.4.- INSPECCIONES DE SEGURIDAD	379
8.4.1.- Manual de contingencia.....	379
8.4.2.- Cartilla de respuesta ante las eventualidades dentro de planta.....	398
8.4.3.- Entrenamiento y simulacro en casos de emergencia	407
8.4.3.1.- Medidas a tomar en caso de incendio	407
8.4.3.2.- Medidas a tomar en caso de fallo eléctrico.....	411
8.4.3.3.- Medidas a tomar en caso de accidentes del personal	412
8.5.- INSPECCIONES A AREAS, EQUIPOS Y PARTES CRÍTICAS.....	416
8.5.1.- Instructivo para realizar inspecciones pre-operacionales a equipos, maquinaria y herramientas.....	416

CAPITULO IX: CONTROL DE CONTAMINANTES

9.1.- ASPECTOS AMBIENTALES.....	423
9.1.1.- D.S. 074-2001-PCM Estandares nacionales de calidad del aire.....	423
9.1.2.- D.S. 085-2003-PCM Estandares nacionales de calidad del ruido	423
9.1.3.- D.S.002-2008-MINAM Estandares nacionales de calidad del agua	424
9.1.4.- R.M.011-96-EM/VMM Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos.....	425
9.1.5.- R.M.315-96-EM/VMM Niveles máximos permisibles para emisiones gaseosas....	425
9.1.6.- D.S.003-2002-PRODUCE Limites máximos permisibles de actividades industrial	426
9.1.7.- Ley 27314: Ley General de Residuos Sólidos	426
9.1.8.- D.S.057-2004-PCM Reglamento de la ley general de residuos sólidos.....	426
9.2.- RESIDUOS DE CONTAMINACION DEACUERDO AL PROCESO.....	427
9.2.1.- Acondicionamiento del agua residual proveniente del sistema de filtración	427
9.2.1.1.- Tratamiento primario	427
9.2.1.2.- Acondicionamiento de gases residuales provenientes del horneado	428

CAPITULO X: INFRAESTRUCTURA Y PLANIFICACION INDUSTRIAL

10.1.- ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL PLANEAMIENTO DEL DISEÑO DE LA PLANTA	431
---	-----

10.2.- ASPECTOS LEGALES	431
10.2.1.- Ley 26512 Saneamiento legal de inmuebles	431
10.2.2.- Ley 27493 Reglamento legal y contable de inmuebles	432
10.2.3.- Decreto de Urgencia 071-2001 Decreto del reglamento legal de inmuebles	432
10.2.4.- D.S. 130-2001-EF Saneamiento de inmuebles de propiedad estatal	433
10.2.5.- NTP G.050 Seguridad durante la construcción	434
10.2.6.- NTP 370.305:2003 Instalaciones eléctricas en edificios	434
10.3.- ASPECTOS AMBIENTALES	435
10.3.1.- La evaluación de impacto ambiental de una infraestructura en el Perú	436
10.3.2.- Normas aplicables para efectos de evaluación de estudios de impacto ambiental	437
CONCLUSIONES	440
RECOMENDACIONES	440
ANEXOS	441
BIBLIOGRAFIA	455

ÍNDICE DE TABLAS

01 Composición y clasificación	8
02 Composición de los cementos Portland	8
03 Tipos principales de cementos Portland	11
04 Clasificación de los cementos	15
05 Prescripciones físico-mecánicas de los cementos	15
06 Cementos resistentes a los sulfatos y al agua de mar	17
07 Cementos resistentes al agua de mar	18
08 Tipos de cemento para usos especiales. Composición (proporción en masa)	19
09 Exigencias físicas y mecánicas	21
10 Exigencias químicas	21
11 Categoría de resistencias de los cementos	25
12 Datos de importación del cemento hidráulico	29
13 Datos de exportación del cemento hidráulico	30
14 Datos de demanda aparente del cemento hidráulico	31
15 Demanda estimada por aumento	32
16 Demanda proyectada	33
17 Demanda estimada y corregida	34
18 Rutas viales	72

19 Evaluación de los factores	81
20 Balance de materia de acuerdo al diagrama N°15	143
21 Entalpías de la cáscara de arroz a 500 °C	145
22 Entalpías del cemento Portland a 100°C	149
23 Entalpías del cemento Portland a 500°C	153
24 Entalpías del cemento Portland a 800°C	157
25 Entalpías del cemento Portland a 1400°C	160
26 Tamaño de las bolas	187
27 Distribución de las bolas en las dos cámaras	189
28 Distribución de las bolas en las tres cámaras	191
29 Índice de trabajo según la composición del cemento	192
30 Índice de molidurabilidad de Hardgrove de las materias primas para el cemento	194
31 Valores del factor (fórmula de blanc)	196
32 Superficie específica y tamaño de granos	197
33 Coeficiente de molidurabilidad (para fórmula de Towarow)	198
34 Valores del coeficiente de molidurabilidad para Clinker de horno rotatorio	199
35 Coeficiente de corrección b para la fórmula de towarow	200
36 Factor de corrección c por el tipo de molino	200
37 Dimensiones de las durezas de las bolas	204
38 Desgaste de las bolas para molienda	206
39 Composición química de las bolas para molienda	207
40 Composición química del material Ni-hard	208
41 Mejora del desgaste específico de los cuerpos de molienda	209
42 Desgaste de las bolas para molienda con alta resistencia al desgaste	209
43 Valores del desgaste específico de material no aleado	210
44 Valores del desgaste específico de las bolas de acero de elevada dureza	210
45 Desgaste de los cuerpos moledores y placas de blindaje en molinos de tubos	211
46 Límites de inflamabilidad	216
47 Temperaturas que corresponden a los colores de la llama	220
48 Calor radiado por m ² de pared de horno y hora	243
49 Pérdidas de calor para velocidad del aire que circunda el horno de 1.5 m/seg a una temperatura de 21°C	244
50 Características de los ciclones de alta eficiencia (stairmand)	247
51 Temperatura de los gases a lo largo del intercambiador de ciclones	268
52 Materiales utilizados como refractarios en el intercambiador	273
53 Relación entre la pendiente de un horno rotatorio y su grado de llenado	275
54 Aplicación de los factores A y B	294
55 Coeficientes de pérdidas por accesorios	306
56 Coeficientes de pérdidas por accesorios	308
57 Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso a global	318
58 Inversiones de equipos, maquinaria y materia prima	327

59 Estudio del proyecto	332
60 Evaluación del proyecto	332
61 Descripción de equipos y herramientas en costo de puesta en marcha	334
62 Costo de puesta en marcha	335
63 Inversión total del proyecto	341
64 Estado de flujo financiero.....	343
65 Determinación de los costos de operación	344
66 Determinación de los costos administrativos	345
67 Costos fijos	346
68 Costos variables.....	347
69 Peligros irritantes.....	365
70 Medidas en caso de vertido accidental	367
71 Métodos de limpieza, manipulación y almacenamiento.....	368
72 Controles de la exposición profesional.....	369
73 Propiedades específicos	370

INDICE DE FIGURAS

01 Velocidad de hidratación.....	23
02 Instalación de molienda en circuito cerrado	91
03 Secado con cámara de predeseccación en el molino	92
04 Instalación de molienda-secado con tubería de predeseccación	93
05 Esquema de fabricación del Clínter por Vía semi-húmeda	96
06 Secadero calcinador de pasta a) Sección longitudinal b) Sección transversal	101
07 Sistema de cadenas a) Cadenas con cortinas b) Cadenas con guirnaldas.....	105
08 Zona de cadenas de un horno de vía húmeda $D=4.5m$	106
09 Esquema de un calcinador F.L.Smíth.....	109
10 Fiseuras orientadas aleatoriamente al deterioro.....	118
11 Proceso de osmosis.....	119
12 a) Reducción en una sola etapa con circuito abierto b) Reducción en una sola etapa en circuito cerrado	170
13 Trituradora de mandíbula de doble palanca acodada (Trituradora Blake)	171
14 Trituradora de mandíbula de simple efecto	172
15 Vistas de la trituradora de mandíbula	176
16 Angulo de elevación óptimo de los cuerpos moledores	182
17 Distribución de los cuerpos moledores en la sección del molino.....	183
18 Llenado de cuerpos moledores según Lewenson	184
19 Movimiento de los cuerpos moledores en los molinos de tubo.....	185
20 Dureza de las bolas para molienda en sus diversas bolas.....	204
21 Diseño del molino de bolas	211

22 Esquema de un horno rotatorio.....	214
23 Sentido de rotación del horno y forma de las aspas interiores	214
24 Influencia de la temperatura del aire de combustión y del exceso de aire sobre la temperatura de llama	219
25 Esquema de chorro en espacio libre	226
26 Forma del chorro, caracterizado por el ángulo mitad	227
27 Chorro recto circular.....	228
28 Tipos de horno rotatorio	237
29 Ciclón de alta eficiencia (nomenclatura-dimensiones).....	246
30 Diámetro del ciclón	248
31 Entrada del ciclón	249
32 Altura de salida el ciclón	250
33 Diámetro de salida del ciclón	250
34 Altura del ciclón	251
35 Altura parte cónica.....	252
36 Altura total del ciclón	253
37 Diámetro de la salida de partículas.....	254
38 Volumen del ciclón evaluado sobre la salida	258
39 Longitud natural del ciclón.....	259
40 Factor de dimensiones lineales	260
41 Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural	262
42 Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón.....	263
43 Relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón.....	264
44 Horno a) tres apoyos b) dos apoyos	278
45 Conjunto de accionamientos de un horno rotatorio.....	279
46 Piñon de accionamiento de un horno y su montaje	279
47 Rodillo de empuje axial	282
48 Rodillo de empuje axial montados	282
49 Enfriador de parrilas tipo de Repol.....	284
50 Diseño de un horno rotatorio con sistema de pre calcinación de cuatro ciclones	284
51 Diseño del horno para calcinar cáscara de arroz	286
52 Diseño de un horno rustico para calcinar cáscara de arroz.....	287
53 Funcionamiento del filtro prensa	289
54 Tubo hidraulico de la cabeza móvil del filtro prensa	290
55 Unión de las placas por medio de cadenas	291
56 Capacidad adecuada de la trituradora de mandíbula	320
57 Acondicionamiento del agua proveniente del filtro prensa	428
58 Acondicionamiento de los gases salientes del horno.....	429

INDICE DE DIAGRAMAS

01 Proceso de obtención del cemento hidraulico	83
02 Proceso de obtención del cemento hidraulico	121
03 Proceso de obtención del cemento hidraulico	122
04 Proceso de obtención del cemento hidraulico	123
05 Horno a 500°C para la cáscara de arroz (Diagrama 15)	125
06 Trituración de la materia prima (Diagrama 15)	130
07 Mezclador de la materia prima (Diagrama 15)	132
08 Molienda de la materia prima (Diagrama 15)	132
09 Filtración de la materia prima (Diagrama 15)	133
10 Pre calcinación del aire con el combustible	134
11 Pre calcinación de la materia prima a 100°C (Diagrama 15)	136
12 Pre calcinación de la materia prima a 500°C (Diagrama 15)	137
13 Pre calcinación de la materia prima a 800°C (Diagrama 15)	138
14 Calcinación de la materia prima a 1400°C (Diagrama 15)	139
15 Proceso de obtención del cemento hidraulico	142
16 Calcinación de la cáscara de arroz (Diagrama 15)	144
17 Pre calcinación de la materia prima a 100°C (Diagrama 15)	148
18 Pre calcinación de la materia prima a 500°C (Diagrama 15)	152
19 Pre calcinación de la materia prima a 800°C (Diagrama 15)	156
20 Calcinación de la materia prima a 1400°C (Diagrama 15)	160
21 Combustión del aire en exceso y la temperatura de llama	220

INDICE DE ANEXOS

01 factor primario y factor secundario	442
02 Entalpías de formación	443
03 Capacidades caloríficas	445
04 Entalpías específicas de gases selectos	448
05 Coeficientes de rugosidad en tuberías	448
06 Coeficientes de resistencias para válvulas y uniones	449
07 Dimensiones de tubo de fibrocemento	451
08 Niveles máximos permisibles de calidad de aire	452
09 Niveles máximos permisibles de emisión para las unidades Minero- Metafurgía	452
10 Valores máximos de emisiones para las unidades mineras en operación o que reinicien operaciones	453
11 Código de colores de manejo de residuos	453
12 Rombo de seguridad	454

INDICE DE GRAFICOS

01 Consumo por cada año	35
02 Punto de equilibrio	348

ÍNDICE DE MAPA CONCEPTUAL

01 Fases de la organización de un proyecto	330
--	-----

ÍNDICE DE CUADROS

01 Cronograma de actividades de ejecución del proyecto	342
02 Identificación de peligro, evaluación de riesgo y control.....	373
03 Inspección de los equipos	418

ÍNDICE DE FORMULAS

1.1: Demanda de consumo futuro	
1.2: Ecuación de la recta	
1.3: Ecuación de la recta cuadrada	
1.4: Ecuación de la recta sumatoria	
3.1: Longitud de la zona de cadenas	
4.1: % de aire en exceso	
4.2: Ecuación de calor para reacciones múltiples	
4.3: Ecuación de calor para una reacción	
4.4: Ecuación de entalpía de reacción	
5.1: Ecuación del número de vueltas del triturador de mandíbulas	
5.2: Capacidad de producción de los trituradores de mandíbulas	
5.3: Energía de accionamiento de los trituradores de mandíbulas	
5.4: Velocidad de rotación crítica de un molino de bolas	
5.5: Velocidad de rotación crítica de un molino de bolas con diámetro >1.7 m	
5.6: Volumen del montón que ocupa las bolas	
5.7: Carga total de cuerpos moledores de un molino de bolas	
5.8: Cálculo del tamaño máximo de las bolas de Bond	
5.9: Índice de molturabilidad de Hardgrove	
5.10: Potencia de un molino de bolas	
5.11: Potencia de un molino de bolas según Blanc	
5.12: Potencia de un molino de bolas según Bond	

- 5.13: Caudal de un molino de bolas según Towarow
- 5.14: Igualdad de entalpías
- 5.15: Longitud de la plancha del ciclón
- 5.16: Altura de la entrada del ciclón
- 5.17: Ancho de la entrada del ciclón
- 5.18: Altura de salida del ciclón
- 5.19: Diámetro de salida del ciclón
- 5.20: Altura de entrada del ciclón
- 5.21: Altura de la parte cónica del ciclón
- 5.22: Altura total del ciclón
- 5.23: Diámetro de la salida de las partículas del ciclón
- 5.24: Caudal de la corriente de aire
- 5.25: Velocidad equivalente
- 5.26: Velocidad de saltación
- 5.27: Volumen del ciclón evaluado sobre la salida
- 5.28: Longitud natural del ciclón
- 5.29: Factor de dimensiones lineales
- 5.30: Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural
- 5.31: Factor dimensional de las proporciones volumétricas
- 5.32: Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón
- 5.33: Relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón
- 5.34: Exponente del vórtice
- 5.35: tiempo de relajación
- 5.36: Eficiencia fraccional por intervalo de trabajo
- 5.37: Caída de presión
- 5.38: Diámetro del ciclón según el Instituto de Gipracement
- 5.39: Peso específico del gas que pasa por el ciclón a una determinada temperatura
- 5.40: Volumen del gas que pasa por el ciclón
- 5.41: Ley general de los gases
- 5.42: Concentración de la harina de crudo
- 5.43: Caudal de calor que se introduce en el horno rotatorio
- 5.44: Diámetro exterior del horno
- 5.45: Longitud del horno según Frankenberger para hornos con intercambiador
- 5.46: Pendiente del horno rotatorio
- 5.47: Velocidad angular del horno
- 5.48: Hallazgo del ángulo de inclinación
- 5.49: Velocidad del material dentro del horno
- 5.50: Tiempo de permanencia del material dentro del horno
- 5.51: Velocidad de filtración
- 5.52: Velocidad de filtración
- 5.53: Área neta de filtración

- 5.54: Área de la placa rectangular
- 5.55: Permeabilidad de la capa de polvo
- 5.56: Caída de presión
- 5.57: Diámetro de la tubería de succión según Bresse
- 5.58: Caudal del fluido
- 5.59: Velocidad media del fluido sobre la sección transversal del tubo
- 5.60: Pérdida de succión local
- 5.61: Pérdida de succión por fricción
- 5.62: Pérdida de carga en la línea de succión
- 5.63: Pérdida de impulsión local
- 5.64: Pérdida de impulsión por fricción
- 5.65: Pérdida de carga en la línea de impulsión
- 5.66: Velocidad de propagación
- 5.67: Tiempo de cierre o de disturbación según Mendiluce
- 5.68: Tiempo crítico de propagación de la onda (ida y vuelta)
- 5.69: Carga por sobrepresión según Michaud
- 5.70: Balance de energía entre los niveles
- 5.71: Altura dinámica de bombeo
- 5.72: Potencia de consumo de la bomba
- 5.73: Eficiencia del sistema en conjunto bomba-motor
- 5.74: Potencia instalada
- 5.75: Cabeza de succión neta positiva disponible
- 5.76: Cabeza de succión neta positiva requerido
- 5.77: Pérdidas de la bomba
- 6.1: Peso total de la muestra
- 6.2: Peso que pasa N° 200
- 6.3: % retenido en cada tamiz
- 7.1: Capital de trabajo neto
- 7.2: Capital de trabajo cero
- 7.3: Amortización
- 7.4: Costos totales
- 7.5: Costo unitario de producción
- 7.6: Ingresos totales
- 7.7: Punto de equilibrio
- 7.8: Valor actual neto
- 7.9: Para hallar el TIR (tasa interna de retorno)

RESUMEN

El presente proyecto ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA LA OBTENCION DE CEMENTO HIDRAULICO A PARTIR DEL CEMENTO PORTLAND Y LA CASCARA DE ARROZ luego de demostrar sus propiedades técnicas y el uso de los equipos necesarios se concluyó que la capacidad de la planta es del orden de 23297 Tn/año, la planta estará localizada en la región de Piura.

Se calculó la inversión total de orden 5'950,000 S/, con costo de operación de 5'528,603 S/ y costo de producción de 5'999,865 S/ con costo fijo 655,262.58 S/ y costo variable de 5'344,603 S/ dando un punto de equilibrio del 21% de la producción. El VAN es del orden de 7'893,729 S/ y un TIR del 40%

De los resultados técnicos y económicos se comprueba la viabilidad del presente estudio.

ABSTRACT

This project studied technical and economic FOR OBTAINING Hydraulic Cement FROM portland cement and rice husk after demonstrating its technical properties and use of the necessary equipment was concluded that the capacity of the plant is about 23297 tons / year, the plant will be located in the region of Piura.

Total investment of 5'950,000 order S / calculated with operating cost of 5'528,603 S / and production cost of 5'999,865 S / S 655,262.58 fixed cost / variable cost of 5'344,603 and S / giving break-even point of 21% of production. The NPV is about 7'893,729 S / and an IRR of 40%.

Technical and economic results of this feasibility study is checked.

INTRODUCCION

El uso de materiales de cementación es muy antiguo; los egipcios utilizaban yeso calcinado impuro, los griegos y los romanos empleaban al principio caliza calcinada que es un tipo de roca sedimentaria constituida principalmente por carbonato de calcio. Posteriormente, se hicieron mezclas de cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas; este fue el primer concreto de la historia.

La puzolana para ese entonces no estaba disponible y había que traerla desde muy lejos, los romanos trituraban ladrillos y así proveían de sílice al mortero.

El presente trabajo de investigación busca analizar y proponer una mejora al cemento puzolánico brindando una opción de cemento con adición de puzolana de forma natural.

Para esto se utilizarán herramientas de ingeniería de Métodos como diagramas de proceso, estudio de mercado, análisis de operaciones, diseño de equipos, análisis financiero, realización del control calidad, control de residuos, seguridad industrial y salud ocupacional.

Este material no sólo es impulsor de industrias como la de productos de cemento, sino también fuente de una demanda para los servicios y productos de otras industrias, como son las empresas de transportes, las suministradoras de combustible y energía eléctrica, las proveedoras de sacos para envasar cemento, las productoras de maquinaria y refacciones dentro y fuera del país.

OBJETIVOS

Objetivo principal:

- Realizar el estudio técnico económico para la obtención de cemento hidráulico a partir del cemento Portland y la cáscara de arroz.

Objetivos específicos:

- Realizar el estudio de mercado y localización de la planta.

- **Desarrollar el balance de materia y energía del cemento hidráulico.**
- **Diseñar los equipos principales y secundarios.**
- **Realizar el análisis financiero del proyecto.**
- **Evaluar el control de calidad, control de contaminantes, seguridad industrial y salud ocupacional.**

CAPITULO I
ESTUDIO DE MERCADO

1.1 PRODUCTO: USOS ÚLTIMOS:

El cemento hidráulico es un material finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con áridos u otros materiales, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, bajo el agua, debido a las interacciones químicas producidas durante la hidratación, una vez endurecido, desarrolla su resistencia y conserva su estabilidad.

El cemento hidráulico puede ser utilizado tanto para obras subterráneas, bajo el agua o para pequeños arreglos donde haya presencia de agua.

En la antigüedad este cemento estaba compuesto por piedra caliza mezclada con toba volcánica en una proporción de 25 a 75% lo que daba como resultado una puzolana.

En el siglo XVIII se realizaron estudios para mejorar la composición del cemento hidráulico, encontrándose que se obtenía un mejor cemento hidráulico si se calcinaba roca blanda impura en cambio de la piedra dura pura. Más tarde se encontró que cuando la escoria dura se molía y se mezclaba con agua se obtenía un cemento hidráulico superior, el producto una vez fraguado era semejante a una piedra natural extraída de las canteras de Portland, Inglaterra, lo que motivó lógicamente el nombre de cemento Portland.

Sus principales componentes son silicatos de calcio, alúmina y hierro proveniente de las materias primas anexadas.

1.1.1.- Historia del cemento:

De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento Portland y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son minerales muy abundantes en la naturaleza, es por eso que su precio es relativamente bajo en comparación con otros materiales y tener unas propiedades muy adecuadas para las metas que deben alcanzar.

Dentro de los conglomerantes hidráulicos entran también los cementos de horno alto, los puzolánicos y los mixtos, teniendo todos éstos un campo muy grande de empleo en

hormigones para determinados medios, así como los cementos aluminosos "cementos de aluminato de calcio", que se aplican en casos especiales.

Los cementos se emplean para producir morteros y hormigones cuando se mezclan con agua y áridos, naturales o artificiales, obteniéndose con ellos elementos constructivos prefabricados o contruidos "in situ".

1.1.1.1 Antecedentes: Hace 5.000 años aparecen al norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas, estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indios.

Los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales.

En Troya y Micenas, dice la historia que, se emplearon piedras unidas por arcilla para construir muros, pero, realmente el hormigón confeccionado con un mínimo de técnica aparece en unas bóvedas contruidas cien años antes de J.C.

Los romanos dieron un paso importante al descubrir un cemento que fabricaban mezclando cenizas volcánicas con cal viva. En Puteoli conocido hoy como Puzzuoli se encontraba un depósito de estas cenizas, de aquí que a este cemento se le llamase "cemento de puzolana".

Con hormigón construye Agripa en el año 27 antes de J.C. el Panteón en Roma, que sería destruido por un incendio y reconstruido posteriormente por Adriano en el año 120 de nuestra era y que, desde entonces, desafió el paso de tiempo sin sufrir daños hasta el año 609 se transformó en la iglesia de Santa María de los Mártires. Su cúpula de 44 metros de luz está contruida en hormigón y no tiene más huecos que un lucernario situado en la parte superior.

1.1.1.2 Historia del cemento Portland: Hasta el siglo XVIII puede decirse que los únicos conglomerantes empleados en la construcción fueron los yesos y las cales hidráulicas, sin embargo, es durante este siglo cuando se despierta un interés notable por el conocimiento de los cementos.

John Smeaton, ingeniero de Yorkshire (Inglaterra), al reconstruir en 1758 el faro de Eddystone en la costa de Cornish, se encuentra con que los morteros formados por la adición de una puzolana a una caliza con alta proporción de arcilla eran los que mejores resultados daban frente a la acción de las aguas marinas y que la presencia de arcilla en las cales, no sólo las perjudicaba sino que por el contrario, las mejoraba, haciendo que estas cales fraguasen bajo el agua y que una vez endurecidas fuesen insolubles en ella.

Puede decirse con acierto que el primer padre del cemento fue Vicat a él se debe el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad y que propuso en 1817. Vicat fue un gran investigador y divulgador de sus trabajos; en 1818 publicó su "Recherches experimentales" y en 1828 "Mortiers et ciments calcaires". En estos trabajos marca la pauta a seguir en la fabricación del cemento por medio de mezclas calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente. El sistema de fabricación que empleó Vicat fue el de vía húmeda y con él marcó el inicio del actual proceso de fabricación. Este gran científico en 1853 empieza a estudiar la acción destructiva del agua de mar sobre el mortero y hormigón.

En 1824, Joseph Aspdin, un constructor de Leeds en Inglaterra, daba el nombre de cemento portland y patentaba un material pulverulento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland. Probablemente, el material patentado por Aspdin era una caliza hidráulica debido, entre otras cosas, a las bajas temperaturas empleadas en la cocción.

En 1838 Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de Aspdin en el que se había logrado una parcial sinterización por elección de una temperatura adecuada de cocción. Este cemento se aplicó en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres.

Puede decirse que el prototipo del cemento moderno fue producido a escala industrial por Isaac Johnson quien en 1845 logra conseguir temperaturas suficientemente altas para clinkerizar a la mezcla de arcilla y caliza empleada como materia prima.

El intenso desarrollo de la construcción de ferrocarriles, puentes, puertos diques, etc, en la segunda mitad del siglo XIX, da una importancia enorme al cemento y las fábricas de éste, especialmente las de cemento natural, empiezan a extenderse por doquier.

Es a partir de 1900 cuando los cementos portland se imponen en las obras de ingeniería y cuando empieza un descenso veloz del consumo de cementos naturales. Actualmente, el cemento portland ha llegado a una gran perfección y es el material industrializado de construcción de mayor consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, siendo destinada, prácticamente, toda su producción a lazar piedras sueltas para crear el material pétreo que conocemos como hormigón. Las investigaciones llevadas a cabo por los padres del cemento Michaelis y Le Chatelier, en 1870 y 1880, fueron fundamentales y muy meritorias para el desarrollo de este material.

En ellas se apoya toda la investigación actual que emplea técnicas de análisis muy sofisticadas y rápidas.

I. Composición y clasificación:

El cemento Portland está compuesto de las siguientes partes:

TABLA 1
COMPOSICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Núcleo	Formado por clinker, las adiciones principales en su caso (>5%) y los componentes (adiciones) minoritarios (<5%).
Sulfato de calcio	Actúa como regulador de fraguado. Habitualmente se dosifica en menos de un 5 % en peso del núcleo.
Aditivos de molienda	Menos del 1% en peso del núcleo

*Fuente: monografía de cemento

TABLA 2
COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS PORTLAND

Cemento	Composición de los compuestos (%)							pérdida en el encendido
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO libre	MgO	
Tipo I	59	15	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2
Tipo II	46	29	6 (8 máx)	12	2.8	0.6	3.0	1.0
Tipo III	60	12	12 (15 máx)	8	3.9	1.3	2.6	1.9
Tipo IV	30 (35 máx)	46 (40 mín)	5 (7 máx)	13	2.9	0.3	2.7	1.0
Tipo V	43	36	4 (5 máx)	12	2.7	0.4	1.6	1.0

*Fuente: monografía de cemento

2. Tipos de cemento Portland:

2.1) Portland Tipo I: Es un cemento normal, se produce por la adición de Clinker más yeso. De uso general en todas las obras de ingeniería donde no se requiera miembros especiales. De 1 a 28 días realiza 1 al 100% de su resistencia relativa.

2.2) Portland Tipo II: Cemento modificado para usos generales. Resiste moderadamente la acción de los sulfatos, se emplea también cuando se requiere un calor moderado de hidratación. El cemento Tipo II adquiere resistencia más lentamente que el Tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia. Las características de este Tipo de cemento se logran al imponer modificaciones en el contenido de Aluminato Tricálcico (C3A) y el Silicato Tricálcico (C3S) del cemento. Se utiliza en alcantarillados, tubos, zonas industriales. Realiza del 75 al 100% de su resistencia.

2.3) Portland Tipo III: Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto hecho con el cemento Tipo III desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrollada en 28 días para concretos hechos con cementos Tipo I y Tipo II ; se debe saber que el cemento Tipo III aumenta la resistencia inicial por encima de lo normal, luego se va normalizando hasta alcanzar la resistencia normal. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de C3S y C3A en el cemento, al molerlo más fino; las especificaciones no exigen un mínimo de finura pero se advierte un límite práctico cuando las partículas son tan pequeñas que una cantidad muy pequeña de humedad pre hidratada el cemento durante el manejo del almacenamiento. Dado a que tiene un gran desprendimiento de calor el cemento Tipo III no se debe usar en grandes volúmenes. Con 15% de C3A presenta una mala resistencia al sulfato. El contenido de C3A puede limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada al sulfato o al 15% cuando se requiera alta resistencia al mismo, su resistencia es del 90 al 100%.

2.4) Portland Tipo IV: Cemento de bajo calor de hidratación se ha perfeccionado para usarse en concretos masivos. El bajo calor de

hidratación de Tipo IV se logra limitando los compuestos que más influye en la formación de calor por hidratación, o sea, C3A y C3S. Dado que estos compuestos también producen la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana resistencia con lentitud. El calor de hidratación del cemento Tipo IV suele ser de más o menos el 80% del Tipo II, el 65% del Tipo I y 55% del Tipo III durante la primera semana de hidratación. Los porcentajes son un poco mayores después de más o menos un año. Es utilizado en grandes obras, moles de concreto, en presas o túneles. Su resistencia relativa de 1 a 28 días es de 55 a 75%.

2.5) Portland Tipo V: Cemento con alta resistencia a la acción de los sulfatos, se especifica cuando hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar. La resistencia al sulfato del cemento Tipo V se logra minimizando el contenido de C3A, pues este compuesto es el más susceptible al ataque por el sulfato. Realiza su resistencia relativa del 65 al 85 %.

TABLA 3
TIPOS PRINCIPALES DE CEMENTO PORTLAND

Clasificación Inglesa		Clasificación Americana	
Descripción	BS	Descripción	ASTM
Portland corriente	12 : 1978	Tipo I	C150-84
Portland alta resistencia	12 : 1978	Tipo III	C150-84
Portland de muy alta resistencia a temprana edad	-	-	-
Portland de bajo calor	1370 : 1979	Tipo IV	C150-84
Cemento modificado	-	Tipo II	C150-84
Portland resistente a sulfatos	4027 : 1980	Tipo V	C150-84
Portland siderúrgico (escoria alto horno)	146 : Parte 2: 1973	Tipo IS	C595-83a
Portland siderúrgico de bajo calor	4246 : parte 2 : 1974	Tipo IS(MS)	-
Portland blanco	12 : 1978	-	C150-84
	4627 : 1970	Tipo IP	
Portland puzolánico	6588 : (borrador)	Tipo P	C595-83a
	3892 : Parte 1:1982	Tipo I(PM)	

*Fuente: monografía de cemento

1.1.1.3 Historia del cemento en el Perú: La introducción del cemento en el Perú se inicia en la década de 1860. En efecto, en 1864 se introdujo en el Arancel de Aduanas, la partida correspondiente al denominado "Cemento Romano", nombre inapropiado que designaba un producto con calidades hidráulicas desarrollado a inicios del siglo. En 1869 se efectuaron las obras de canalización de Lima, utilizando este tipo de cemento. En 1902 la importación de cemento fue de 4,500 T.M. Posteriormente, en 1904 el Ingeniero Michel Fort publicó sus estudios sobre los yacimientos calizos de Atocongo, ponderando las proyecciones de su utilización industrial para la fabricación de cemento. En 1916 se constituyó la Cía. Nac. de Cemento Portland para la explotación de las mencionadas canteras.

Las construcciones de concreto con cemento Portland se inician en la segunda década del siglo con elementos estructurales de acero, como el caso de las bóvedas y losas reforzadas de la Estación de Desamparados y la antigua casa Oechsle. También, en algunos edificios del Jr. de la Unión y en el actual teatro Municipal. A partir de 1920 se generaliza la construcción de edificaciones de concreto armado, entre ellos las aún vigentes: Hotel Bolívar, Sociedad de Ingenieros, Club Nacional, el Banco de la Reserva, la Casa Wiese y otros. Asimismo, se efectúan obras hidráulicas, la primera de ellas la Bocatoma del Imperial, construida en 1921, empleando 5,000 m³ de concreto. En el periodo 1921 - 1925 se realizan importantes obras de pavimentación en Lima, dentro de las que debemos incluir la antigua Av. Progreso, aún en servicio con la denominación de Av. Venezuela. La Industria Peruana del Cemento, inicia su actividad productiva en el año 1924 con la puesta en marcha de la Planta Maravillas, propiedad de la Compañía Peruana de Cemento Portland. Hasta mediados de siglo, el consumo en otras regiones fue muy reducido, abasteciéndose mayormente por la importación. En 1955 inicia la producción Cemento Chilca S.A., con una pequeña planta en la localidad del mismo nombre, pasando posteriormente a formar parte de la Compañía Peruana de Cemento Portland.

El monopolio que de hecho existía en el país en el sector cemento, centralizado en la región capital, fue roto con la formación de dos empresas privadas descentralizadas, Cementos Pacasmayo S.A., en 1957 y Cemento Andino S.A. en 1958. Posteriormente, la empresa capitalina instaló una pequeña planta en la localidad de Juliaca, que inició la producción en 1963, denominada en la actualidad Cemento Sur S.A. y en 1956 se crea la fábrica de Cemento Yura S.A. en Arequipa.

El total de la capacidad instalada en el país es de 3'460,000 TM/A de cemento, lo que significa una disposición de 163 Kg. de cemento por habitante. El Perú

ocupa el sexto lugar en la producción de cemento en Latinoamérica luego México, Brasil, Argentina, Colombia y Venezuela.

1.1.2 Cemento hidráulico:

Se definen como cementos los conglomerantes hidráulicos que, convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo agua.

El cemento hidráulico es un material compuesto que consiste esencialmente de material cementoso (cemento Portland y material cementoso suplementario como cenizas volantes y GGBS), agregados (gruesos y finos) y agua o aditivos químicos. Las propiedades de concreto fresco y endurecido depende de, entre otros factores, la proporción de otros ingredientes y en menor medida, de las características de la calidad de los agregados. El proceso para determinar la proporción de cada ingrediente en consideración de la deseada propiedad es llamada mix desing.

1.1.2.1 Clasificación y tipología: La clasificación de los cementos se puede hacer según diferentes criterios. Las principales características distintivas en las que pueden basarse dichos criterios pueden ser:

- I. Las clases o categorías resistentes (Resistencias mecánicas mínimas o medias, usualmente la resistencia a la compresión a los 28 días).
- II. Los tipos de cemento (Cementos portland, cementos siderúrgicos, cementos puzolánicos, etc.).
- III. Las propiedades características especiales más importantes (Bajo calor de hidratación, resistencia frente medios agresivos por ejemplo, sulfatos, rápido desarrollo de resistencias, etc.).

El criterio diferencial principal de la “Categoría resistente” para la clasificación de los cementos es el adoptado por la NORMA DIN 1164 de la antigua República Federal Alemana, el de los “Tipos de cemento” es el adoptado por la NORMA

TGL 28101/102 de la antigua República Democrática Alemana y el de las "Propiedades características más importantes" sirve como base a la NORMA ASTM C 150-76a de los Estados Unidos y al CEMBUREAU de París. En cada uno de estos criterios principales de clasificación se pueden utilizar los demás a efectos de posteriores subdivisiones. AENOR ha publicado una serie de NORMAS UNE para Cementos, elaboradas por subcomité SC3 del Comité Técnico de Normalización CTN-80 "Cementos y Cales" de dicha Asociación Española de Normalización (AENOR/CTN80/SC3) Dichas normas con los títulos de sus contenidos son las siguientes:

- Cementos comunes, UNE-EN 197-1:2000
- Cementos comunes con características adicionales:
 - ✓ Cementos resistentes a los sulfatos, UNE 80303-1:2001.
 - ✓ Cementos resistentes al agua del mar, UNE 80303-2:2001.
 - ✓ Cementos de bajo calor de hidratación, UNE 80303-3:2001.
- Cementos de albañilería, artículo 4.3 de la RC-03.
- Cementos blancos, UNE 80305:2001.
- Cementos de aluminato de calcio (CAC/R), UNE 80310:1996.

La nomenclatura utilizada en la definición de los cementos es una combinación de elementos del cuadro siguiente (tipo de cemento, clase resistente, adiciones, etc.).

TABLA 4
CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS

TIPO DE CEMENTO	CEM	Cementos comunes.
	CEM I	Cemento Portland
	CEM II	Cemento Portland con adiciones
	CEM III	Cemento con escorias de hornos alto.
	CEM IV	Cemento puzolánico
	CEM V	Cemento compuesto
TIPOS DE SUBDIVISIONES DEL CEMENTO PRINCIPAL	A, B & C	Subtipos de cemento, van seguidos de quión (-) y la letra de la adición.
	M	Cementos Portland compuestos.
	I, II, III, IV, V	Cementos con características adicionales (sin la letra CEM).
CLASE RESISTENTE	32,5 42,5 52,5	Clase de resistencia (a compresión en N/mm ²).
TIPO RESISTENCIA	R N	Cemento de alta resistencia inicial. Cemento de resistencia normal.
ADICIONES	S	Escoria de horno alto.
	O	Humo de sílice.
	P	Puzolana natural
	Q	Puzolana natural caliza
	V	Ceniza volante sílice
	W	Ceniza volante calcárea
	T	Esquistos calcinados
	L y LL	Caliza.
	SR	Cementos resistentes a los sulfatos.
CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS	MR	Cementos resistentes al agua de mar
	BC	Cementos de bajo calor de hidratación
	ESP	Cementos para usos especiales
	MC	Cementos de albañilería
	X	Exentos de aditivo aireante
	BL	Cementos blanco comunes
	CAC/R	Cementos de aluminato de calcio

*Fuente: monografía de cemento

1.1.2.2 Características físico-químicas: Especificaciones:

TABLA 5
PRESCRIPCIONES FISICO-MECANICAS DE LOS CEMENTOS
PARTE 1

Clase de resistencia	Resistencia a compresión MPa				Tiempo de principio de fraguado	Expansión
	Resistencia inicial		Resistencia normal			
	2 días	7 días	28 días			
32,5 N	—	≥16,0	≥32,5	≤52,5	≥75	≤10
32,5 R	≥10,0	—				
42,5 N	≥10,0	—	≥42,5	≤62,5	≥60	
42,5 R	≥20,0	—				
52,5 N	≥20,0	—	≥52,5	—	≥45	
52,5R	≥30,0	—				

TABLA 5
PRESCRIPCIONES FISICO-MECANICAS DE LOS CEMENTOS
PARTE 2

1	2	3	4	5
Propiedades	Ensayo de referencia	Tipo de cemento	Clase de resistencia	Exigencias ¹⁾
Pérdida por calcinación	EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	≤5,0 %
Residuo insoluble	EN 196-2 ²⁾	CEM I CEM III	Todas	≤5,0 %
Sulfato (SO ₃)	EN 196-2	CEM I CEM II ³⁾ CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤3,5 %
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤4,0 %
		CEM III ⁴⁾	Todas	
Cloruros	EN 196-21	Todos ⁵⁾	Todas	≤0,10 % ⁶⁾
Puzolanidad	EN 196-5	CEM IV	Todas	Cumplir con el ensayo

1) Las exigencias se dan en porcentajes en masa del cemento final.
2) Determinación del residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio.
3) El cemento tipo CEM II/B-T puede contener hasta el 4,5% de SO₃ para todas las clases de resistencia.
4) El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta el 4,5% de SO₃.
5) El cemento tipo CEM III puede contener más de 0,10% de cloruros pero en tal caso, el contenido máximo se debe consignar en los envases y albaranes de entrega.
6) Para aplicaciones de pretensado, el cemento se puede fabricar de acuerdo con valores más bajos. Si es así, se debe reemplazar el valor de 0,10% por este valor, el cual se debe consignar en los albaranes de entrega.

* Fuente monografía del cemento

1.1.2.3 Cementos con características especiales: Las normas UNE 80.303-1:2001, 80.303-2:2001, 80.303-3:2001 y UNE 80305:2001 se refieren a los cementos con ciertas características especiales. Se entiende, que estos cementos y sus componentes han de cumplir todas las especificaciones físicas, mecánicas y químicas que para ellos se señalan en la Norma UNE-EN 197-1:2000.

Las características especiales a que se refieren son las siguientes:

1. UNE 80.303-1:2001: Resistencia a sulfatos.
2. UNE 80.303-2:2001: Resistencia al agua de mar.
3. UNE 80.303-3:2001: Bajo calor de hidratación.
4. UNE 80305:2001: Blancura.

Los respectivos cementos tendrán una designación adicional acorde con la característica especial que cada uno posea.

En este proyecto nos centraremos en hablar de las características especiales de los ítems 1 y 2.

1. Cementos resistentes a los sulfatos de suelos y terrenos: La norma UNE 80.303-1:2001 tiene por objeto establecer las especificaciones que deben cumplir la mayor parte de los cementos de las normas UNE para poder ser considerados como resistentes a los sulfatos de suelos y terrenos.

Otros cementos con composición de Clínter distinta a la del portland, pueden ser considerados también como resistentes a los sulfatos y/o al agua de mar, aunque no estén incluidos en la norma UNE 80301; por ejemplo, los cementos de aluminato de calcio (norma UNE 80310). Se consideran cementos resistentes a los sulfatos, aquellos cementos de las normas UNE que por su composición, o por la constitución de su Clínter, o por ambas cosas, cumplan las especificaciones indicadas en la TABLA N° 06. Se refieren a límites porcentuales de C_3A y $C_3A + C_4AF$.

TABLA 6
CEMENTOS RESISTENTES A LOS SULFATOS Y AL AGUA DE MAR

Tipos	Denominaciones		Subtipos (designaciones)	Especificaciones del clínter de los cementos SR	
				C_3A %	$C_3A + C_4AF$ %
I	Cementos Portland resistentes a los sulfatos		I	≤ 5	≤ 22
II	Cementos Portland con adiciones resistentes a sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	II/A-S	≤ 6	≤ 22
			II/B-S		
		Con humo de sílice (D)	II/A-D		
		Con puzolana natural (P)	II/A-P		
			II/B-P		
		Con ceniza volante (V)	II/A-V		
III	Cementos con adiciones, resistentes a los sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	III/A	≤ 8	≤ 25
			III/B	Ninguna ¹⁾	
			III/C		
IV	Cementos con adiciones, resistentes a los sulfatos	Cementos puzolánicos (D+P+V)	IV/A	≤ 6	≤ 22
V		Cementos compuestos (S+P+V)	IV/B	≤ 8	≤ 25

NOTA - Los tipos y subtipos de los cementos se refieren a los homólogos definidos en la Norma UNE-EN 107-1.

¹⁾ Los cementos CEM III/B y CEM III/C siempre son resistentes a los sulfatos.

* Fuente monografía del cemento

2. Cementos resistentes al agua de mar: La norma UNE 80.303-2:2001 tiene por objeto establecer las especificaciones que deben cumplir la mayor parte de

los cementos de las normas UNE para poder ser considerados como resistentes al agua de mar.

Se consideran cementos resistentes al agua de mar aquellos cementos de las normas UNE que por su composición, o por la constitución de su Clínter, o por ambas cosas, cumplan las especificaciones indicadas en la TABLA N° 07 Se refieren a límites porcentuales de C_3A y C_3A+C_4AF . Los contenidos de C_3A y C_4AF .

TABLA 7
CEMENTOS RESISTENTES AL AGUA DE MAR

Tipos	Denominaciones		Subtipos (designaciones)	Especificaciones del clinker de los cementos SR	
				C ₃ A %	C ₃ A + C ₄ AF %
I	Cementos Portland resistentes al agua de mar		I	≤ 5	≤ 22
II	Cementos Portland con adiciones, resistentes al agua de mar	Con escoria de horno alto (S)	II/A-S	≤ 8	≤ 25
			II/B-S		
		Con humo de sílice (D)	II/A-D		
		Con puzolana natural (P)	II/A-P		
			II/B-P		
	Con ceniza volante (V)	II/A-V			
		II/B-V			
III	Cementos con adiciones, resistentes al agua de mar	Con escoria de horno alto (S)	III/A	≤ 10	≤ 25
			III/B	Ninguna ¹⁾	
			III/C		
IV		Cementos puzolánicos (D+P+V)	IV/A	≤ 8	≤ 25
			IV/B		
V		Cementos compuestos (S+P+V)	V/A	≤ 10	≤ 25

NOTA - Los tipos y subtipos de los cementos se refieren a los homólogos definidos en la Norma UNE-EN 197-1.

¹⁾ Los cementos CEM III/B y CEM III/C siempre son resistentes al agua de mar.

* Fuente monografía del cemento

Los cementos resistentes al agua de mar tendrán la designación que les corresponda según la UNE-EN 197-1:2000, seguida por la designación complementaria MR -separada por una barra-, y añadiendo a ella la mención de la presente norma.

1.1.2.4 Cementos para usos especiales: La norma UNE 80.307:96 tiene por objeto establecer los tipos y composiciones, las clases de resistencia y demás especificaciones de carácter físico y químico relativas a cementos para usos especiales, tales como grandes macizos de hormigón en masa, bases y sub-bases de firmes, estabilización de suelos, etc.

Los cementos definidos en esta norma no deben emplearse nunca en hormigón armado ni en hormigón pretensado.

En esta norma se incluyen como cementos para usos especiales los tipos definidos, en cuanto a composición, en la TABLA N° 08, con las designaciones que en la misma se indican.

TABLA 8
TIPOS DE CEMENTO PARA USOS ESPECIALES. COMPOSICIÓN (proporción en masa)

Tipos de cemento	Designación	Clinker	Escorias de horno alto	Puzolanas naturales ¹⁾	Cenizas volantes	Componentes minoritarios adicionales ²⁾
ESP VI-1	VI-1	25 - 55	45 - 75			0 - 5
ESP VI-2	VI-2	25 - 40	30 - 45	30 - 45		0 - 5

- 1) Los valores de la tabla se refieren al núcleo del cemento con exclusión del sulfato de calcio y de cualquier aditivo. Representan % en masa.
- 2) Los componentes minoritarios adicionales pueden ser filler, o uno o más de los componentes principales, a menos que estén incluidos ya como tales en el cemento.
- 3) Para el cemento ESP VI-1 el contenido de puzolana natural no deberá ser superior a 40%.

* Fuente monografía del cemento

A) Tipos de cementos especiales:

A.1) Cemento Portland blanco: Es el mismo Portland regular, lo que define es el color, esto se obtiene por medio del color de la manufactura, obteniendo el menor número de materias primas que llevan hierro y óxido de magnesio, que son los que le dan la coloración gris al cemento. Este cemento se usa específicamente para acabados arquitectónicos tales como estuco, pisos y concretos decorativos.

A.2) Cemento Portland de escoria de alto horno: Es obtenido por la pulverización conjunta del Clinker portland y escoria granulada finamente molida con adición de sulfato de calcio. El contenido de la escoria granulada de alto horno debe estar comprendido entre el 15% y el 85% de la masa total.

A.3) Cemento siderúrgico supersulfatado: Obtenido mediante la pulverización de escoria granulada de alto horno, con pequeñas cantidades apreciables de sulfato de calcio.

A.4) Cemento Portland puzolánicos: Se obtiene con la molienda del Clinker con la puzolana. Tiene resistencia parecida a los cementos normales y resistentes a ataques al agua de mar, lo que lo hace aconsejable para construcciones costeras. Para que el cemento sea puzolánico debe contener entre el 15% y el 50% de la masa total. El cemento puzolánico se utiliza en construcciones que están en contactos directos con el agua, dada su resistencia tan alta en medios húmedos.

A.4.1 Portland puzolánico tipo IP: Donde la adición de puzolana es del 15 – 40% del total.

A.4.2 Portland puzolánico tipo I (PM): Donde la adición de puzolana es menos del 15%.

A.4.3 Portland puzolánico tipo P: Donde la adición de puzolana es más del 40%.

A.5) Cemento Portland adicionado: Obtenido de la pulverización del Clinker Portland conjuntamente con materiales arcillosos o calcáreos-sílicos-aluminosos.

A.6) Cemento Aluminoso: Es formado por el Clinker aluminoso pulverizado el cual le da propiedad de tener alta resistencia inicial. Es también resistente a la acción de los sulfatos así como a las altas temperaturas.

1.1.2.5 Exigencias físicas y mecánicas: A diferencia de los cementos comunes, la resistencia normal de un cemento especial ESP, viene dada por la resistencia mecánica determinada a los 90 días. Los valores de resistencia referida a N/mm^2 (MPa) de resistencia a compresión, determinada según UNE-EN 196-1 se definen en la TABLA N° 09. Se establecen tres clases de resistencia: clase 22.5, clase 32.5 y clase 42.5. La clasificación de un cemento especial de acuerdo con

su resistencia a 90 días se indica por los valores 22.5, 32.5 o 42.5, siguiendo la designación normalizada del tipo de cemento.

El tiempo de principio de fraguado y la expansión, determinados de acuerdo con la norma UNE-EN 196-3, deben cumplir las exigencias de la TABLA N° 09.

TABLA 9
EXIGENCIAS FISICAS Y MECANICAS

Clases de resistencia	Resistencia a compresión (N/mm ²)		Principio de Fraguado (min)	Estabilidad (expansión) (mm)
	28 días	90 días		
42,5	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	≤ 10
32,5	≥ 22,5	≤ 42,5		
22,5	≥ 12,5	≤ 32,5		

*Fuente: monografía de cemento

1.1.2.6 Exigencias químicas:

Los cementos especiales ESP cumplirán los requisitos establecidos en la TABLA N° 10 verificados mediante las normas de ensayo señaladas en dicha tabla.

TABLA 10
EXIGENCIAS QUÍMICAS

Tipo de cemento	Propiedades	
	Sulfatos (SO ₃)	Cloruros ¹⁾ (Cl)
ESP VI-1	≤ 3,5%	≤ 0,10%
ESP VI-2		
Norma de Ensayo	EN 196-2	UNE 80217

1) El cemento tipo VI-2 puede contener más de un 0,10% de cloruros, pero en tal caso se debe consignar en los envases y albranes de entrega el contenido real de los cloruros.

*Fuente: monografía de cemento

1.1.2.7.- Propiedades físicas y mecánicas del cemento hidráulico:

1.1.2.7.1 Fraguado y endurecido: El fraguado es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. La velocidad de fraguado viene limitado

por las normas estableciendo un período de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual debe producirse el principio y fin del fraguado. Este proceso es controlado por medio del ensayo de la aguja de Vicat (NB 063; ASTM C191), que mide el inicio y fin del fraguado en mediciones de penetraciones cada 15 min, de la siguiente manera:

1.1.2.7.1.1 Inicio del Fraguado. - Cuando la aguja no penetra más de 25 mm en la pasta. Se recomienda que una vez iniciado el fraguado el cemento ya deba estar totalmente colocado y no debe moverse de su lugar, ya que se originarán fisuras.

1.1.2.7.1.2 Fin del Fraguado. - Cuando la aguja no deja marcas en la superficie de la pasta.

1.1.2.7.1.3 Falso fraguado o endurecimiento prematuro. - Se manifiesta por un endurecimiento rápido del hormigón poco después del mezclado. Si éste es el resultado de la deshidratación del yeso durante el proceso de molido, por lo general desaparecerá con un mezclado adicional. Si es resultado de la interacción de cemento aditivo, es posible que se requieran agua y mezclado adicionales para mitigar el problema.

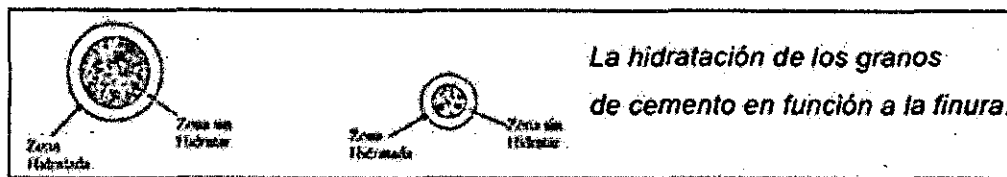
1.1.2.7.1.4 Fraguado por compactación. - En ocasiones, en el manejo del cemento a granel, se encuentra que el cemento presenta cierta dificultad para fluir o que fluye mal.

Este "fraguado por compactación", no tiene efecto sobre las propiedades del cemento para producir el hormigón. El problema suele ser la humedad, instalaciones de manejo inadecuadamente diseñadas o haber dejado que el cemento se asentara, por demasiado tiempo sin moverlo. El fraguado por compactación puede presentarse en donde, durante el tránsito, la vibración, ha eliminado la mayor parte del aire que rodea las partículas de cemento, como en los vagones de ferrocarril. Se puede tener una situación semejante en los silos de almacenamiento. Por lo general, la aplicación de chorros de aire esponjará bastante el cemento como para permitir que fluya. El uso de

sustancias para ayudar a la pulverización del cemento ha reducido de manera significativa los problemas de flujo. Los sistemas modernos de aireación, los vibradores adecuados para los depósitos y silos correctamente diseñados experimentan pocos problemas, en caso de haberlos.

1.1.2.7.2 Finura: Influye decisivamente en la velocidad de reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y el principio de éste. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento sólo se hidratan en una profundidad de 0,01 mm, por lo que si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño, al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte, como se ilustra en la FIGURA N° 01:

FIGURA 1
VELOCIDAD DE HIDRATACIÓN



Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de hidratación serán muy altos, se vuelve más susceptible a la meteorización y disminuye su resistencia a las aguas agresivas, lo que en general resulta muy perjudicial. La finura influye sobre las propiedades de ganancia de resistencia, en especial hasta un envejecimiento de 7 días. Por esta razón, el cemento del Tipo III se muele más fino que los otros tipos. Aún cuando las especificaciones (NB 011; ASTM C150) señalan una finura mínima la mayor parte de los cementos sobrepasan este mínimo en entre un 20 y un 40%. Una señal práctica de que las partículas son muy pequeñas, es cuando durante el almacenamiento y manejo, una cantidad muy pequeña de humedad pre-hidrata el cemento.

Algunos usuarios especifican un mínimo de finura, en un esfuerzo por minimizar la contracción por secado del hormigón.

1.1.2.7.3 Resistencia mecánica: La velocidad de endurecimiento del cemento depende de las propiedades químicas y físicas del propio cemento y de las condiciones de curado, como son la temperatura y la humedad. La relación agua/cemento (A/C) influye sobre el valor de la resistencia última, con base en el efecto del agua sobre la porosidad de la pasta.

Una relación A/C elevada produce una pasta de alta porosidad y baja resistencia. La resistencia es medida a los 3, 7 y 28 días, teniendo estas que cumplir los valores mínimos.

Para determinar la resistencia a la compresión, se realiza el ensayo de Compresión (NB 470; ASTM C109), en el cual se usan cubos de mortero de 5 cm. por lado, con una relación constante agua/cemento de 0.485, y para los cementos con puzolana se calcula esta relación, según el contenido de puzolana, hasta lograr la consistencia especificada. El mortero para las pruebas consta de una parte de cemento y 2.75 partes de arena graduada estándar, mezclados con agua. Los cubos de mortero se preparan en moldes que se compactan en 2 capas con una varilla normalizada, se deja secar en una cámara con humedad mayor al 90%. Luego se desmolda y se coloca en agua saturada de óxido de Calcio a una temperatura entre 23 a 25°C.

El ensayo se lleva a cabo en la máquina de compresión, donde se colocan los cubos y se les aplica presión, hasta la rotura. Los cubos son curados unas 24 horas en los moldes, luego son removidos de estos y son sumergidos en agua con cal hasta el momento de realizarse el ensayo.

TABLA 11
CATEGORÍA DE RESISTENCIAS DE LOS CEMENTOS

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión* (MPa) (NB470)		
		Mínimas a 3 días	Mínimas a 7 días	Mínimas a 28 días
Añá	40	17	25	40
Media	30	.	17	30
Corriente	25	.	15	25
Tipo de Cemento		Resistencias a la compresión (MPa) (ASTM 109)		
Tipo I		12	19	.

* La mayoría de los cementos superan ampliamente los requisitos de resistencia de la especificación.

*Fuente: monografía de cemento

1.1.2.7.4 Expansión: El exceso de cal libre o de magnesia en el cemento da por resultado expansión y la desintegración del hormigón hecho con ese cemento.

En el caso de la cal libre, se debe a partículas de esta que no llegan a combinarse con los demás componentes y que van aumentando de volumen hasta explotar.

En el caso de la magnesia se debe a la formación de la periclasa, formada por el óxido de magnesio que se origina cuando el Clinker no ha sido enfriado rápidamente al salir del horno. La expansión producida por el magnesio se presenta a largo plazo, produciendo fisuras, por lo cual la Norma limita la cantidad de óxido de magnesio al 6.0%.

1.1.2.7.5 Fluidez: La fluidez es una medida de la consistencia de la pasta de cemento expresada en términos del incremento del diámetro de un espécimen moldeado por un medio cono, después de sacudir un número específico de veces.

1.1.2.7.6 Calor de hidratación: El calor de hidratación es un factor de importancia en la práctica. Tiene un efecto auto acelerador en la hidratación de cemento y, por consiguiente, puede ser beneficioso cuando se trabaja con hormigón bajo condiciones ambientales frías. Sin embargo,

también puede ser un factor problemático, ya que el calentamiento de la parte interior de la estructura de hormigón puede generar grandes gradientes térmicos que pueden inducir tensiones mecánicas, que finalmente pueden resultar en la formación de hendiduras, fisuras y grietas. Esto es sobre todo un problema para estructuras de hormigón macizas y compactas. En este último caso, normalmente se prefiere usar cementos especiales, llamados cementos de bajo calor de hidratación.

Para el control del calor de hidratación, la composición del Clinker es de suma importancia. Esto es obvio, cuando se considera el calor desarrollado para hidratación completa de los cuatro minerales de Clinker.

1.1.2.7.7 Durabilidad (resistencia a ataques químicos): La durabilidad de una estructura de hormigón es una de las propiedades más importantes relacionadas con el uso del cemento. La durabilidad depende de un número de factores asociados con la composición del cemento, las características de la construcción y aspectos ambientales. Pero también las características del cemento propio juegan un papel importante.

Esto es realmente el caso, cuando se tratan los siguientes aspectos de la durabilidad:

- 1.- Resistencias a medios químicamente agresivos, especialmente agua que contiene sulfatos.
- 2.- Reacciones entre álcalis y agregados que tienen un efecto de empeoramiento.

1.1.2.7.7.1 Resistencia a sulfatos: Los hidratos químicamente vulnerables en el mortero de cemento portland son Ca(OH)_2 y los hidratos de aluminatos de calcio. Sobre todo los últimos reaccionan fácilmente con iones de sulfatos que pueden penetrar en el material, que resulta en la formación de etringita que puede causar una

expansión que además puede resultar en una desintegración gradual del hormigón.

Por esta razón, los cementos para uso en hormigones que están expuestos al agua del mar o agua residual y agua subterránea que contiene sulfatos, deben tener bajos contenidos de C3A. Para esos fines se producen cementos especiales, los llamados cementos resistentes a sulfatos. En las normas nacionales hay especificaciones con respecto al contenido máximo de C3A para este tipo de cemento, frecuentemente combinado con requisitos químicos suplementarios para asegurar también contenidos de C4AF y C3S suficientemente bajos.

1.1.2.7.7.2 Reacciones entre álcalis y agregados: Ciertos agregados que contienen silicio y carbonatos reactivos pueden reaccionar con álcalis presentes en el cemento y formar productos expansivos que pueden contribuir a la desintegración del hormigón. En esos casos el uso de cemento con bajo contenido de álcalis puede ser especificado. Los cementos con un contenido de álcalis expresado como equivalente de Na_2O por debajo del 0.6% normalmente son considerados como bajos en álcalis.

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQUIV}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$$

1.1.3 Usos últimos del cemento hidráulico:

- Inyecciones en fisuras para resanar rocas.
- Como un tipo de “grout” para anclar pernos o cables en macizos rocosos.
- Relleno de las fundas o vainas que contienen los cables o barras de acero para hormigón pretensado (protección contra la oxidación).
- Revestimiento de pozos para extracción de petróleo.

- Inyecciones para estabilizar suelos pantanosos o esponjosos (faltos de resistencia).
- Pintura de protección contra la oxidación de chapa metálica.
- Espuma de cemento (con introductores de gases) para bloques ultralivianos, (aislamiento térmico o acústico).

1.2.- PRODUCTOS COMPETITIVOS:

Los principales productos competitivos son aquellos que tienen agregados puzolánicos de origen natural de cenizas volcánicas, originadas del alto horno; ya que nuestro producto es de una puzolana natural proveniente de las cenizas de la cáscara de arroz.

También hay otros agregados no necesariamente con puzolánicos pero con las mismas características de estos.

Estos productos son:

a. Cementos Pacasmayo:

- Cemento Anti salitre con fortimax 3.
- Cemento tipo V.
- Cemento Extra durable.

b. Cemento Yura:

- Cemento de Alta durabilidad.
- Cemento de Alta resistencia.
- Cemento Anti salitre.

c. Cementos Lima.

- Cemento Portland Puzolánicos Tipo IP.
- Clinker Tipo II BA.
- Clinker Tipo V BA.

1.3.- ANALISIS DE LA DEMANDA:

1.3.1 Importaciones:

TABLA 12
DATOS DE IMPORTACION DEL CEMENTO HIDRAULICO

AÑO	Producción (Kg)
2001	1759399.83
2002	2088319.77
2003	851956.58
2004	1462434.4
2005	1127587.71
2006	2307956.93
2007	2205898.94
2008	3286573.23
2009	3582845.23
2010	8086601.15
2011	7426894.35

* Fuente SUNAT

1.3.2 Exportaciones:

TABLA 13
DATOS DE EXPORTACION DEL CEMENTO HIDRAULICO

AÑO	Producción (Kg)
2001	39085939
2002	6305004.2
2003	4671219
2004	5473569.228
2005	6198995.674
2006	8248903.727
2007	10330055.493
2008	8208158
2009	7968546
2010	8604585
2011	10628872.624

***Fuente: SUNAT**

1.3.3 Demanda Nacional aparente:

TABLA 14
DATOS DE DEMANDA APARENTE DEL CEMENTO HIDRAULICO

AÑO	Consumo (Kg)
2001	40845338.83
2002	8393323.97
2003	5523175.58
2004	6936003.628
2005	7326583.386
2006	10556860.66
2007	12535954.43
2008	11494731.23
2009	11551391.23
2010	16691186.15
2011	18055766.97

*Fuente: Autor

1.3.4 Demanda proyectada:

1.3.4.1 Tasa de crecimiento:

TABLA 15
DEMANDA ESTIMADA POR AUMENTO

AÑO	Consumo (Kg)	Aumento	% Aumento anual
2001	40845338.83	-32452014.86	-79.45
2002	8393323.97	-2870148.39	-34.20
2003	5523175.58	1412828.048	25.60
2004	6936003.628	390579.758	5.63
2005	7326583.386	3230277.274	44.09
2006	10556860.66	1979093.77	18.75
2007	12535954.43	-1041223.2	-8.31
2008	11494731.23	56660	0.49
2009	11551391.23	5139794.92	44.50
2010	16691186.15	1364580.82	8.18
2011	18055766.97		
TOTAL	149910316.1	-22789571.86	25.28

*Fuente: Autor

$$\text{Tasa de crecimiento: } \frac{\Sigma \% A}{n-1} = \frac{25.28}{10} = 2.53\%$$

$$D_n = \text{Consumo}_0 * (1 + \text{Tasa de crecimiento})^n \quad (1.1)$$

$$D_{2017} = 40845338.83 * (1 + 0.0253)^{17}$$

$$D_{2017} = 62461 \text{ Tn/año}$$

1.3.4.2.- Razón del aumento promedio/ consumo promedio:

$$\text{Consumo promedio} = \frac{\text{consumo total}}{n} = \frac{149910316.1}{11} = 13628210.55$$

$$\text{Aumento promedio} = \frac{\text{Aumento total}}{n-1} = \frac{-22789571.86}{10} = -2278957.19$$

$$\text{Tasa de crecimiento} = \frac{\text{Aumento promedio} - 2278957.19}{\text{consumo promedio } 13628210.55} * 100 = -16.72\%$$

$$D_{2017} = 40845338.83 * (1 - 0.1672)^{17}$$

$$D_{2017} = 1821 \text{ Tn/año}$$

Estos métodos no son tan exactos es por eso que se usa el método de mínimos cuadrados.

1.3.4.3.- Por mínimos cuadrados:

TABLA 16
DEMANDA PROYECTADA

AÑO	X	Y	XY	X ²
2001	0	40845338.83	0	0
2002	1	8393323.97	8393323.97	1
2003	2	5523175.58	11046351.16	4
2004	3	6936003.628	20808010.88	9
2005	4	7326583.386	29306333.54	16

2006	5	10556860.66	52784303.3	25
2007	6	12535954.43	75215726.58	36
2008	7	11494731.23	80463118.61	49
2009	8	11551391.23	92411129.84	64
2010	9	16691186.15	150220675.4	81
2011	10	18055766.97	180557669.7	100
TOTAL	55	149910316.1	701206643	385

*Fuente: Autor

$$y = a + bx \quad (1.2)$$

$$\Sigma xy = a\Sigma x + b\Sigma x^2 \quad (1.3)$$

$$\Sigma y = na + b\Sigma x \quad (1.4)$$

$$701206643 = 55a + 385b$$

$$149910316.1 = 11a + 55b$$

$$a = 15825707.71$$

$$b = 439499.43$$

$$y = 15825707.71 + 439499.43 \cdot 17$$

$$y = 23297 \text{ Tn/año}$$

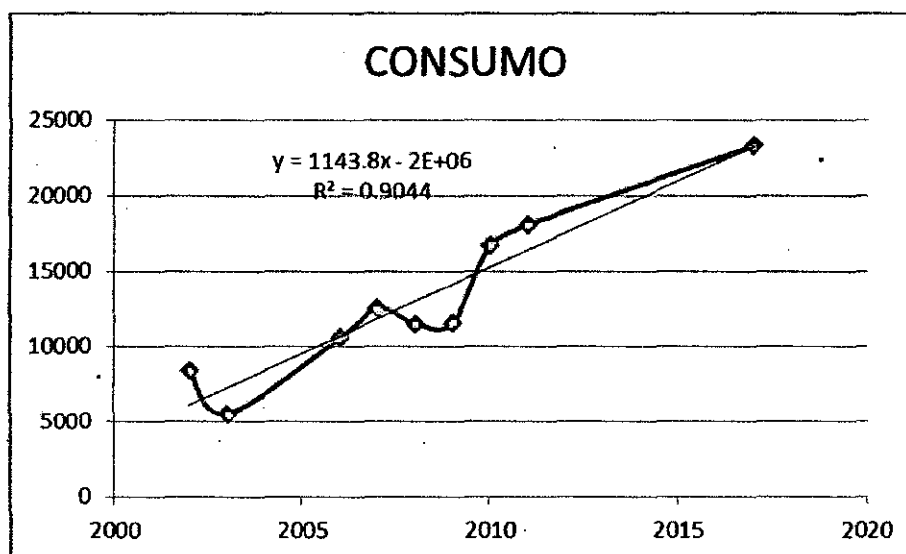
TABLA 17
DEMANDA ESTIMADA Y CORREGIDA

AÑO	Demanda estimada (Tn)	Demanda corregida (Tn)
2012	21099.7	23297
2013	21539.2	23297
2014	21978.7	23297

2015	22418.2	23297
2016	22857.7	23297
2017	23297	23297

*Fuente: Autor

GRAFICO 1
CONSUMO POR CADA AÑO



1.4.- ANÁLISIS DE LA OFERTA:

La industria de cemento ha experimentado un sostenido crecimiento en los últimos tres años, impulsada por la reactivación de la demanda interna y el poder adquisitivo de la población, los cuales motivaron una mayor inversión privada en infraestructura.

La reactivación del sector construcción que sustenta el crecimiento de la industria cementera es relativamente generalizada, tanto en el segmento de vivienda como en el de locales comerciales e infraestructura de transporte. Por el contrario, la inversión pública se contrajo en el 2004, por lo que el dinamismo recaerá en la actividad privada.

La industria presenta diversas ventajas competitivas, entre las que destacan barreras naturales a la entrada, tales como mercados geográficos definidos y disponibilidad de materias primas, así como el bajo costo de insumos y el alto poder de negociación frente a clientes y proveedores.

La industria mantiene un adecuado nivel de inversiones y actualización tecnológica, y parte de su estrategia consiste en diversificar sus fuentes de ingresos, mediante el incremento en la oferta de productos. Por su parte, la costumbre del mercado local de utilizar predominantemente el cemento en las edificaciones permite consolidar el posicionamiento de las cementeras.

1.4.1 Capacidad industrial instalada:

El desarrollo de la industria del cemento en el Perú y el incremento de la capacidad instalada han tenido como una de sus metas el satisfacer convenientemente los requerimientos de la construcción en todo el país. Las ampliaciones se han efectuado progresivamente, de manera de no recargar el endeudamiento externo, mantener la productividad y minimizar la capacidad ociosa; factores que cautelan la economía social del país y la de las propias empresas.

En el 2004, el sector construcción mantuvo el dinamismo retomado el 2002, impulsado por una reactivación de la demanda interna y el avance de proyectos de concesiones en infraestructura.

En particular, el crecimiento de la demanda interna en los últimos 3 años fue fundamental para incentivar la edificación de Indicadores del sector construcción.

El consumidor cuenta con una amplia gama de cementos normalizados, los tipos Portland I, II y V y los portland puzolánicos tipos IP y IMP, de las diferentes plantas productoras,

En este caso la capacidad industrial instalada es 23297 Tn/ año

1.4.2 Producción:

La Industria Peruana del Cemento, inicia su actividad productiva en el año 1924 con la puesta en marcha de la Planta Maravillas, propiedad de la Compañía Peruana de Cemento Portland.

Hasta mediados de siglo el consumo en otras regiones fue muy reducido, abasteciéndose mayormente por la importación. En 1955 inicia la producción Cemento Chilca S.A., con una pequeña planta en la localidad del mismo nombre, pasando posteriormente a formar parte de la Compañía Peruana de Cemento Portland.

El monopolio que de hecho existía en el país en el sector cemento, centralizado en la región capital, fue roto con la formación de dos empresas privadas descentralizadas, Cementos Pacasmayo S.A., en 1957 y Cemento Andino S.A. en 1958. Posteriormente, la empresa capitalina instaló una pequeña planta en la localidad de Juliaca, que inició la producción en 1963, denominada en la actualidad Cemento Sur S.A. y en 1956 se crea la fábrica de Cemento Yura S.A. en Arequipa.

En línea con el fuerte avance del sector construcción, la producción total de cemento en el país fue de 8'978.824 toneladas métricas TM entre enero y noviembre, cifra mayor en 16,7% frente al mismo periodo del año pasado.

Del total producido, 8'756.374 TM correspondieron a los despachos de cemento registrados en los primeros 10 meses del año, 16,6% más en relación al 2011; mientras que la producción restante (173.198 TM) forma parte de las exportaciones de cemento (33,3% más).

La producción de la planta estaría sujeta a la capacidad de acopio de ésta.

La producción es de 23297 Tn/año.

1.4.3 Proyección de la oferta:

Las proyecciones de la oferta estarían sujeta a la producción de ésta.

Proyección de la oferta: 23297 Tn/año

1.5.- COMPARACIÓN ENTRE CAPACIDAD INSTALADA, OFERTA Y DEMANDA PROYECTADA:

1.5.1 Capacidad instalada:

La capacidad instalada es una tasa de producción ideal para la cual se diseñó el sistema, éste producto que puede ser obtenido durante un cierto periodo de tiempo.

1.5.2 Oferta proyectada:

Es la evolución esperada de la provisión del bien, para proyectar la oferta se debe tener en cuenta ciertos aspectos tales como: capacidad de la infraestructura existente, equipos y personal disponible.

1.5.3 Demanda proyectada:

Es un elemento importante debido a que se constituye en el factor crítico que permite determinar la viabilidad y el tamaño del proyecto. La demanda proyectada se refiere fundamentalmente al comportamiento que esta variable pueda tener en el tiempo.

1.6.- PRECIO DEL PRODUCTO:

Hay que tener en cuenta que ni bien es cierto, hay varios productos competitivos y en sus diferentes presentaciones y cualidades, se debe de tener en cuenta para la determinación del precio del producto que no todos los productos competitivos son accesibles en el norte, y por lo tanto no se competirá con todas sus presentaciones ni con todas las empresas.

$$^1\text{Costo unitario de producción} = \frac{\text{Costos totales}}{\text{Unidades de producción}}$$

Unidades de producción:

¹ Revisar el capítulo 7

$$23297 \frac{\text{Tn}}{\text{año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * \frac{1 \text{ bolsa}}{42.5 \text{ Kg}} = 548164.71 \text{ bolsa/año}$$

$$\text{Costo unitario de producción} = \frac{5999865.58 \text{ S//año}}{548164.71 \text{ bolsa/año}}$$

$$\text{Costo unitario de producción} = 10.95 \text{ S//bolsa} \approx 11.0 \text{ S//bolsa}$$

∴ A este costo unitario de producción se le agrega como máximo el 40%

$$P_v = 1.4 * 11 \text{ S//bolsa} \rightarrow P_v = 15.4 \text{ S//bolsa}$$

Por lo tanto nuestro precio estaría en un aproximado de 15.4 S//bolsa en una presentación de 42.5 Kg, este precio es que la empresa vende a los proveedores.

1.7.- REQUERIMIENTO DE MATERIA PRIMA:

1.7.1 Piedra caliza:

La caliza es una roca compuesta por lo menos del 50% de carbonato de calcio (CaCO_3), con porcentajes variables de impurezas, en su interpretación más amplia, el término incluye cualquier material calcáreo que contenga carbonato de calcio como mármol, creta, travertinos, coral y marga. Cada uno de los cuales poseen propiedades físicas distintas, sin embargo, generalmente se considera que la caliza es una roca calcárea estratificada compuesta principalmente de mineral calcita, que por calcinación da la cal viva.

En la naturaleza existe una gran variedad de tipos de rocas calizas: tales como biohémicas que son formadas por la acumulación de esqueletos de organismos acuáticos formadores de arrecifes; las bíostrómicas son parecidas a las anteriores (tienen el mismo origen) pero ocupan áreas más amplias y aparecen en estratos de espesor variable separados por capas de arcilla; las Bituminosas son calizas de color negro, ricos en

compuestos orgánicos tales como el queroseno y asfaltos que por destilación, se pueden extraer y utilizar como combustible; los de crinoides son calizas con dolomitas aunque la cantidad de calcita representa siempre más del 50% del total (si no sería una dolomía); calizas fétidas que contienen un cierto porcentaje de azufre reducido de tal forma que al golpearlas despiden un desagradable olor a huevos podridos; litográficas rocas de grano fino y colores claros, formadas a partir de restos de organismos marinos microscópicos llamados foraminíferos y ciertas algas, por lo que también se denominan calizas pelágicas.

Los tipos de rocas carbonatadas se dividen en: físico-químicas formado por: marga, travertinos, tobas calizas y caliche; las bioquímicas formadas por calizas de bacterias y algas; organógenas compuestas por calizas lumaquelas conchíferas, eucrinitas, biohérticas, biostrómicas, creta y nummulíticas; metasomáticas constituidas por dolomías y calizas dolomíticas. Su composición fundamental está integrada por carbonato cálcico, calcita y dolomita. El mecanismo de formación de estos tipos consiste en la unión de concreciones calcáreas, oolitos y pisolitos, consolidación de barros calcáreos y calcáreos arcillosos; se precipitan en regiones cársticas, alrededor de plantas en regiones calcáreas, en suelos por capilaridad, por metabolismo vegetal, por la unión de conchas de moluscos, equinodermos, crinoides, arrecifes de corales, de brios, por erosión del arrecife, por acumulo de caparazones de foraminíferos y nummulites y por metasomatismo de calizas o precipitaciones directa de dolomita o sílice coloidal.

El ambiente de formación es variado desde marino de aguas cálidas, nerítico, tropical, pelágico, litoral; continental superficial o subterráneo; fluvial y lacustre hasta continental árido.

El término cal tiene un significado muy amplio e incluye cal viva, cal hidratada y cal hidráulica. Durante la calcinación de la caliza, en condiciones controladas, desprende dióxido de carbono y queda los óxidos de calcio y magnesio, conocidos con el nombre de cal viva. Este material reacciona con el agua; el proceso se llama apagado de la cal y es exotérmico; produce cantidad considerable de calor. La caliza dolomítica calcinada a

temperatura más elevada y por largo tiempo, se convierte en un material que tiene poca actividad química y que se conoce comercialmente con el nombre de dolomita quemada o inerte. Tratando la cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química por el agua en las condiciones de hidratación, se obtiene un polvo seco llamado cal hidratada. Puesto que el óxido de magnesio no tiene mucha afinidad por el agua a la presión atmosférica, la cal hidratada, es esencialmente hidróxido de calcio o una mezcla de hidróxido de calcio, óxido de magnesio y algo de hidróxido de magnesio, la cal hidráulica es un producto para el cemento, calcinando y que endurezca debajo del agua.

Industrialmente la cal viva se prepara por calentamiento de la caliza (CaCO_3) por encima de los 2000°C .

1.7.1.1 Propiedades físicas: La coloración de las calizas ricas en calcio y las calizas dolomíticas son blancas cuando son puras, pero cambia de color entre el gris y el negro a consecuencia de las impurezas carbonosas que contienen; el óxido férrico da a la caliza color amarillento, rojo, pardo; los sulfuros tales como la pirita, la marcasita y la siderita alteran el color superficial de la roca al oxidarse bajo la influencia de los agentes atmosféricos, dando un color rojizo. Para la construcción de monumentos o la edificación, el color de la caliza es una propiedad importante.

Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris. La resistencia de la caliza es una propiedad importante a la compresión, al aplastamiento que oscila entre 98.4 y 583.5 kg/cm^2 , la resistencia a la tracción no es tan importante y es más difícil de determinar, su variación es de 26 a 63 kg/cm^2 .

La densidad bruta de la caliza, es el peso de un decímetro cúbico, que varía según el contenido de humedad, la textura y la porosidad de la roca. La caliza comercial secada al aire en las condiciones ordinarias tiene una densidad de 1.922 kg/dm^3 . En condiciones de humedad, la densidad bruta puede ser de 2.242 kg/dm^3 . La densidad real prescindiendo de los poros llenos de aire, oscila entre 2.2 y 2.9

kg/dm³. La caliza rica en calcio tiene una densidad de 2.65 a 2.75 kg/dm³; y las calizas dolomíticas de 2.8 a 2.9 kg/dm³.

El análisis espectral con rayos "X" ha revelado que todas las rocas calizas tienen textura cristalina. La textura uniforme suele especificarse para la roca de edificación y la monumental; para los usos industriales la textura no tiene importancia. La textura y la dureza de los minerales que acompañan a la caliza afectan a la dureza de la roca.

La dureza de la caliza es de 2 a 3 en la escala relativa de dureza de Friedrich Mohs, esta es una propiedad importante en la roca de cantera, por lo general, las calizas se trabajan con bastante facilidad si no contienen minerales silíceos.

La composición química y las propiedades de la cal y la caliza dependen de la naturaleza y cantidad de las impurezas de la roca original. Las materias contaminadas se depositan simultáneamente con la caliza o entraron durante alguna fase posterior. La alúmina en combinación con la sílice está en la caliza principalmente en forma de arcilla, aunque pueden encontrarse otros silicatos de aluminio en forma de feldespato y mica. Cuando está en cantidades apreciables, la arcilla convierte una caliza rica en calcio en marga o en una arcillosa, que por calcinación dan cales hidráulicas.

Para la mayoría de las aplicaciones pueden despreciarse las cantidades pequeñas; sin embargo, el 5 por ciento o más de materia silícea en una caliza pueden ser nociva para el rendimiento en la fabricación de la cal y para la calidad de la misma. A las temperaturas propias de la calcinación, la mayor parte de la sílice, en especial la que se halla en forma de partículas minúsculas (las partículas de sílice grandes como granos gruesos de arena suelen permanecer inertes), reacciona con el óxido de calcio y produce silicatos fundidos; éstos productos vítreos se reúnen en el horno y obstruyen el paso del material, fenómeno que en los hornos relativos forma un anillo de silicato que se va ensanchando durante la

rotación del horno. Además de ser una impureza, la materia silícica es muy dura y nociva para las cales y las rocas destinadas a producir materiales de pulimento. Las calizas metalúrgicas y químicas deben contener menos del 1 por ciento de alúmina y menos de 2 por ciento de sílice. Los compuestos de hierro de una caliza son pocas veces nocivos para la cal, a menos que se necesite una cal muy pura.

Normalmente, el hierro está en forma de limonita (hidróxido férrico) y pirita FeS_2 . Los silicatos que contienen hierro no se descomponen.

1.7.1.2 Aplicaciones: Directa o indirectamente, es probable que la roca caliza y la cal se empleen en más industrias que ninguna otra sustancia natural; ambos materiales se usan mucho en la agricultura, en la edificación y en las industrias químicas. Hubo un tiempo en que se tenía la cal como material agrícola o de construcción; pero actualmente las $\frac{3}{4}$ partes del tonelaje anual de cal se emplea como compuesto químico básico en la industria. El encalado de las tierras con caliza pulverizada y la cal estimula la producción del suelo, disminuyendo la acidez y proporcionando a los suelos importantes nutrientes para las plantas.

En la edificación o construcción, la caliza se usa como “piedra de dimensiones” (conocida como cantera), cortada en diferentes formas y tamaños para la construcción de muros y monumentos; en forma de piedra partida, se usa como balastro para ferrocarriles y como agregado para la formación del concreto (hormigón) y la construcción de caminos. La cal se usa en morteros para albañilería, en enlucidos del concreto, como agente estabilizador del suelo y en la construcción de caminos de tierra. La dolomita quemada e inerte se usa mucho como material refractario para revestimiento de hornos y hogares. Son aplicaciones químicas de la caliza: en procesos metalúrgicos, como fundente, en operaciones para fabricación de la pulpa de papel, en procesos de neutralización de ácidos y como relleno de muchos productos comerciales, en la fabricación del cemento en donde se usa un enorme tonelaje de caliza, en la fabricación de alambre y acero, en el tratamiento de minerales de oro y plata y en la refinación

del cobre, el plomo; siendo el mayor consumidor de cal la industria del acero, que la usa por las propiedades básicas de la cal para eliminar las impurezas ácidas de las menas de hierro.

En la purificación del agua y para el tratamiento de las aguas residuales de las poblaciones e industrias, control de la contaminación atmosférica. Se mencionan otros usos tales como para la refinación del azúcar y el petróleo, en la fabricación del papel, hidróxido de sodio, vidrio, insecticidas, carburo de calcio, polvos de blanqueo, artículos de piel, barnices, magnesio.

1.7.2 Arcilla:

La arcilla es un suelo o roca sedimentaria constituido por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades fisico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 mm).

Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 mm.

Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

1.7.2.1 Propiedades fisico-químicas: Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades fisico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- ✓ Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 mm).
- ✓ Su morfología laminar (filosilicatos).
- ✓ Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

1.7.2.1.1 Superficie específica: La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área

de la superficie interna (en el caso de que ésta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

1.7.2.1.2 Capacidad de intercambio iónico: Es una propiedad fundamental de las esméctitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- ✓ Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- ✓ Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- ✓ Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina.

1.7.2.1.3 Capacidad de absorción: Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmécitas) o en los canales estructurales.

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, es denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

1.7.2.1.4 Hidratación e hinchamiento: La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esméctitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

1.7.2.1.5 Plasticidad: Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al. 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

1.7.2.1.6 Tixotropía: La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

1.7.2.2 Aplicaciones de la arcilla: Para que puedan ser utilizadas han de estar dotadas de un marcado carácter tixotrópico, viscosidad, alta capacidad de hinchamiento y buena dispersabilidad.

- ✓ Creación de membranas impermeables en torno a barreras en el suelo, o como soporte de excavaciones.
- ✓ Prevención de hundimientos. En las obras, se puede evitar el desplome de paredes lubricándolas con lechadas de bentonita.
- ✓ Protección de tuberías: como lubricante y rellenando grietas.
- ✓ En cementos: aumenta su capacidad de ser trabajado y su plasticidad.
- ✓ En túneles: Ayuda a la estabilización y soporte en la construcción de túneles. Actúa como lubricante (un 3-5 % de lodo de bentonita sódica mantenida a determinada presión soporta el frente del túnel). También es posible el transporte de los materiales excavados en el seno de fluidos benoníticos por arrastre.
- ✓ En tomas de tierra: Proporciona seguridad en el caso de rotura de cables enterrados.
- ✓ Transporte de sólidos en suspensión.

1.7.3 Ceniza de la cáscara de arroz:

En su forma básica el concreto es una mezcla de cemento Portland, arena, agregado grueso y agua. El principal material cementante en el concreto es el cemento Portland. Hoy en día la mayoría de las mezclas de concreto contienen adiciones al cemento que constituyen una porción del material cementante en el concreto. Estos materiales son generalmente subproductos de otros procesos o materiales de origen natural.

Ellos pueden o no ser procesados antes de ser utilizados en los concretos. Algunos de estos materiales son denominados puzolanas, que por sí mismos no tienen propiedades cementantes, pero cuando se utilizan en el cemento Portland, reaccionan para formar componentes cementantes. Otros materiales, como las escorias si exhiben propiedades cementantes. Para su uso en el concreto, las adiciones al cemento, algunas veces son

referidos como adiciones de minerales, necesitan cumplir con requerimientos de las normas establecidas. Ellos pueden ser utilizadas individualmente o en combinación en el concreto. Pueden ser añadidos a la mezcla de concreto como un cemento que contenga la adición o como un ingrediente dosificado separadamente en la planta de concreto premezclado. Estas puzolanas pueden ser:

1.7.3.1 Cenizas volantes: Son un subproducto de los hornos que emplean carbón mineral como combustible para la generación de energía y constituyen en sí las partículas no combustibles, no removidas de las chimeneas de gases.

1.7.3.2 Escorias molidas de alto horno: Son subproductos no metálicos producidos en un alto horno cuando el mineral de hierro es reducido a hierro dulce. La escoria líquida es enfriada rápidamente para formar gránulos, que son molidos a una finura similar a la del cemento Portland.

Las escorias molidas de alto horno tienen por sí mismas propiedades cementantes pero éstas son mejoradas cuando se utilizan con cemento Portland. Las escorias se utilizan entre el 20 y el 70% en peso de los materiales cementantes.

1.7.3.3 Humo de sílice: Es un material puzolánico de alta reactividad y es un subproducto de la producción de metal silíceo o ferro-silíceo. Se recolecta de la chimenea de gases de los hornos arco eléctrico. El humo de sílice es un polvo extremadamente fino, con partículas alrededor de 100 veces más pequeñas que un grano promedio de cemento. El humo de sílice está disponible como un polvo densificado o en forma de material acuoso.

1.7.3.4 Puzolanas naturales: Las puzolanas naturales tienen un origen volcánico y éstos materiales silíceos tienden a ser reactivos si son enfriados rápidamente. En los Estados Unidos las puzolanas naturales comercialmente disponibles incluyen el Metacaolín y las arcillas o esquistos calcinados. Estos materiales son producidos mediante la calcinación controlada de minerales de origen natural. El Metacaolín es producido a partir de arcillas caoliníticas relativamente puras y se emplean entre el 5 y el 15% en peso de los materiales cementantes. Las arcillas

o esquistos calcinados son utilizados a mayores porcentajes en peso. Otras puzolanas naturales son los cristales volcánicos, zeolíticos, ceniza de la cáscara de arroz y tierra de diatomeas.

Las adiciones al cemento son utilizadas para reducir el calor asociado con la hidratación y reducir el potencial de fisuración en elementos estructurales masivos. Estos materiales modifican la micro estructura del concreto y reducen su permeabilidad por lo que consecuentemente reducen la penetración de agua y sales disueltas en el concreto. La impermeabilidad del concreto reducirá varias formas de deterioro del mismo, tales como la corrosión del acero de refuerzo y el ataque químico. La mayoría de las adiciones al cemento reducen la expansión interna del concreto debido a reacciones químicas tales como la reacción álido álcali y el ataque de sulfatos.

En este proyecto nos vamos a centrar en la puzolana natural y específicamente a las provenientes de la ceniza de la cáscara de arroz.

Algunas industrias generan productos secundarios que constituyen fuentes de contaminación para el ambiente. Esto implica la necesidad de estudiar alternativas para la aplicación o disposición final de los mismos. Las mezclas a base de cemento Portland y en especial los hormigones son buenos receptores. En zonas productoras de arroz es habitual utilizar como combustible la cáscara y esta operación deja como residuos grandes volúmenes de cenizas. Se ha comprobado que las cenizas de cáscara de arroz poseen propiedades puzolánicas si son quemadas y/o molidas en forma conveniente; no obstante su naturaleza sílicea puede dar lugar a expansiones o degradación del material en forma similar a la reacción álcali sílice.

1.8.- INSUMOS MANEJADOS EN EL PROCESO:

1.8.1 Yeso:

El yeso es un producto preparado básicamente a partir de una piedra natural denominada aljez, mediante deshidratación, al que puede añadirse en fábrica determinadas adiciones de otras sustancias químicas para modificar sus características de fraguado, resistencia, adherencia, retención de agua y densidad, que una vez amasado con agua, puede ser utilizado directamente. También, se emplea para la elaboración de materiales prefabricados. El yeso, como producto industrial, es sulfato de calcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), también llamado vulgarmente "yeso cocido". Se comercializa molido, en forma de polvo. Una variedad de yeso, denominada alabastro, se utiliza profusamente, por su facilidad de tallado, para elaborar pequeñas vasijas, estatuillas y otros utensilios.

El yeso es generalmente agregado al Clinker para regular el fraguado. Su presencia hace que el fraguado se concluya aproximadamente en 45 minutos. El yeso reacciona con el aluminato Tricálcico para formar una sal expansiva llamada etringita.

1.8.1.1 Propiedades del yeso:

- ✓ Producto Natural y Ecológico: El yeso se obtiene a partir de mineral de sulfato de calcio di hidratado que se encuentra abundantemente en la naturaleza. Es no tóxico, respetuoso con el medio ambiente y sus residuos son biodegradables.
- ✓ Regulación Higrométrica: Por sus excelentes cualidades higrométricas el yeso es el más eficaz y natural regulador de la humedad ambiental en los interiores de las edificaciones. Absorbe la humedad excesiva y la libera cuando hay sequedad.
- ✓ Aislamiento Térmico: La utilización de yeso en los revestimientos interiores de las edificaciones puede aumentar en un 35% la capacidad de aislamiento térmico frente a construcciones no revestidas.

- ✓ Absorción Acústica: Debido a su elasticidad y estructura finamente porosa, el yeso ofrece una excelente capacidad de insonorización. Disminuye ecos y reverberaciones, mejorando las condiciones acústicas de las edificaciones.
- ✓ Protección Contra el Fuego: El yeso es completamente incombustible y resistente al fuego. Al exponerse al calor se produce una gradual liberación del agua de cristalización en forma de vapor que retrasa la elevación de temperatura absorbiendo el calor, sin emanar gases tóxicos que son la principal causa de accidentes fatales en la mayoría de incendios.
- ✓ Compatibilidad decorativa: El yeso, debido a su excelente plasticidad y moldeo, posee infinidad de posibilidades en decoración. Es compatible con casi todos los elementos de decoración: papel, tapiz, madera, pintura, texturizados, etc.
- ✓ Blancura: La blancura natural del yeso conforma el soporte más adecuado para aplicar cualquier tipo de acabado posterior, tanto en blanco como en otros colores.
- ✓ Facilidad de trabajo: El yeso en estado plástico es muy manejable, modelable y liviano y se adhiere fácilmente a las superficies.
- ✓ Durabilidad: El yeso, una vez formada la red cristalina en el fraguado, es estable en el tiempo e inalterable ante las variaciones ambientales.

1.8.2 Energía:

La fabricación del cemento se basa en la extracción de las calizas de los yacimientos y reducirlos de tamaño hasta convertirlo en polvo, mezclándose con arcillas, óxido de hierro y mineral de sílice para que tenga una composición química definida, llamándosele harina cruda que procesado en horno rotativo a temperatura de 1 450 °C se logra transformaciones mineralógicas hasta obtener el producto intermedio, el Clinker. Luego pasa a la molienda conjuntamente con el yeso obteniéndose el cemento; estos procesos son los que requieren grandes cantidades de energía térmica y eléctrica. Esto hace que la fabricación de cemento, sea una actividad industrial muy intensiva en

energía, en la que los costos energéticos representan una parte importante de sus costos de fabricación.

La gestión de la energía térmica y eléctrica, deben formar parte de la política de una empresa, ya que es un factor que determina la competitividad ante la agresiva competencia provocada por la globalización. Además, por la utilización de energía térmica a partir de combustibles, la empresa deberá asumir su responsabilidad social con el medio ambiente, al generar gases de invernadero. Para que una organización enfrente favorablemente el consumo de energía, debe enfocarlo sistémicamente, incluyendo los componentes de la gestión de la energía y su interacción entre ellas.

En la molienda del cemento se tiene grandes consumos de energía eléctrica por la necesidad de reducir el tamaño de las partículas, el ahorro dependerá de los equipos a utilizar; siendo los molinos verticales y las prensas de rodillos más eficientes que los molinos de bolas. En la operación de las plantas de cemento se tienen fallas y paradas muchas veces repetitivas y con tiempos largos de interrupción, con una gestión apropiada se lograría ahorros de energía.

La gestión en la adquisición energética y el ahorro durante su utilización permite conseguir la máxima eficiencia en la industria. Se debe llevar a cabo un uso racional de la energía que permita reducir su consumo sin afectar la calidad del producto, la productividad y la calidad de los servicios. El ahorro de la energía y su gestión son las mejores alternativas en la industria del cemento para conseguir competitividad y excelencia operativa.

1.8.3 Agua:

Las fábricas de cemento son a veces grandes consumidores de agua, pero el proceso tecnológico no produce contaminación del agua. En las fábricas de cemento se necesitan de agua por tonelada de cemento para la refrigeración de las máquinas. La mayor parte de ésta agua se encuentra en circulación, por lo que sólo hay que reponer las pérdidas. En las instalaciones que trabajan con el método seco también se consume agua para la refrigeración de los gases de escape de los hornos.

CAPITULO II

LOCALIZACION DE LA PLANTA

Se describirá los factores de mayor importancia que permitan seleccionar el área geográfica para ubicar la planta.

2.1.- FACTORES MÁS IMPORTANTES Y LUGARES MÁS FACTIBLES:

Los factores para la localización se consideran dentro de los aspectos económicos y de operatividad de la planta.

Se clasifican en dos grandes grupos.

- ✓ Los factores primarios que son los que más influyen en la determinación de una mejor ubicación y permitirán establecer la región donde se localizará; para el análisis consideraremos: suministro de materia prima, mercado, combustible, energía eléctrica, agua, etc.
- ✓ Los factores secundarios o específicos que deciden el lugar de ubicación exacto dentro de la región.

Todos los factores son importantes para la selección del lugar.

Para analizar ésta serie de factores, se considera el territorio peruano dividido en cuatro zonas: norte, centro, sur, oriente.

Los lugares más factibles para la localización correcta de la planta de cemento hidráulico a partir del cemento portland y la cáscara de arroz es importante para su buen éxito.

La base del anteproyecto es determinar la factibilidad técnico económico financiero para la instalación de una planta de cemento hidráulico, demandará para ello considerar las siguientes Zonas como alternativas probables para hacer un estudio de los diferentes factores que influyen en su ubicación:

- ✓ Zona de Tumbes
- ✓ Zona de Piura
- ✓ Zona de Chiclayo

La justificación que se hará al momento de elegir la ubicación del proyecto estará basada en las ventajas comparativas entre los lugares escogidos como idóneos para determinar la ubicación final del proyecto.

2.2.- SUMINISTRO DE MATERIA PRIMA:

Se debe ubicar la principal fuente de abastecimiento de materia prima a la par con las necesidades actuales y de las estimadas para el futuro. Con una ubicación cerca de las fuentes de materias primas se reduce considerablemente los costos de transporte y almacenamiento.

Mis materias primas serían la piedra caliza, la arcilla y la cáscara de arroz, y los tres lugares tienen estas materias primas.

2.2.1 Tumbes:

A nivel regional el área del presente estudio se localiza en la llanura costanera en el sector norte del país en el departamento de Tumbes; la región es divisible en cuatro unidades geomórficas principales:

1. Litoral
2. Llanura Costanera
3. Montañas y colinas
4. Cauce del río Tumbes

A nivel regional y basado en la información geológica existente y proceso de verificación de campo, en el área de estudio se han reconocido unidades lito estratigráficas que van del Paleozoico Inferior hasta el Cuaternario reciente, con predominancia de rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios.

La secuencia y relaciones estratigráficas generalizadas, identificadas en la zona de estudio son las siguientes:

- Intrusivo higuieron: El intrusivo, corresponden a rocas graníticas y es el causante del metamorfismo de la zona; se observan cambios en textura, estructura y

composición mineralógica: Cuarzo, feldespatos, máficos y micas, conforme se aproximan al contacto con los meta sedimentos; en donde se observa una foliación el cual pasa a una textura gnéisica.

- Formación zorritos: El inferior, consiste de lutitas marrón grisáceas, carbonosas, con intercalaciones de lutitas grises a verdosas, ocasionalmente con lentes de arenisca cuarzosas de grano medio con estratificación cruzada; en la parte superior de este miembro se presentan las lutitas bentoníticas.

El miembro medio, está constituido por horizontes de areniscas de grano fino y en partes conglomerados finos interestratificados con lutitas grises a verde olivo o capas carbonosas, piritosas y ocasionalmente lutitas rojas.

El miembro superior presenta areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, con lutitas bentoníticas de color verde claro y lutitas carbonosas con escasa pirita.

En la Caleta Grau, la secuencia consiste de lutitas plumizas en capas delgadas, pasando hacia arriba a lutitas marrón rojiza debido a la oxidación; la parte superior presenta areniscas verdes con capas tobáceas y arcillosas de color gris blanquecino. Se observan niveles de yeso de 1 cm. paralelos a la estratificación.

En la quebrada Bocapán, la formación presenta una parte inferior de lutitas marrón a ocre por intemperización; hacia arriba se observan areniscas terrosas poco consolidadas, lutitas tobáceas, con algunos niveles de areniscas con nódulos de chert y niveles conglomerádicos. Formación que presenta yeso, rellenando vetillas y nódulos silíceos de 30cm de diámetro.

- Formación cardalitos: Base de arenas, son más o menos duras en capas de 0.25 a 1 m. de espesor, intercaladas con arcillas arenosas e intercalaciones de conglomerados. En la parte media presenta arcillas plumizas oscuras y claras, con intercalaciones de arenas sueltas en capas delgadas; hacia arriba las arcillas plumas se tornan yesíferas, observándose núcleos y lentes calcáreos que generalmente no son más de un metro de espesor. La parte superior está formada por arcillas con bancos de arena.

En la localidad de Lavejal, Pampa Cardalitos (Carretera Panamericana Norte, Km. 1222) la secuencia consiste de arcillitas color marrón rojiza a verde amarillenta, con macro y microfósiles, lutitas abigarradas que intemperizan a ocre o verde claro, sigue un banco grueso de arenisca con oquedades por intemperismo; encima de la arenisca se encuentra una capa de 30 cm de espesor de arenisca blanquecina. La parte superior está constituida por lodolitas, arcillitas color marrón ocre a marrón oscuro.

En el valle del río Tumbes, en el caserío Vaquerías (margen izquierda) y pampas de Hospital (margen derecha), la secuencia está compuesta por lutitas arcillosas con algunos horizontes de areniscas tobáceas y areniscas de cemento calcáreo color ocre de grano medio. La Fm cardelitos tiene su equivalente en la Fm Zapallal en la cuenca Sechura.

- Formación Tumbes: La Formación de Tumbes de la región de Zarumilla - Tumbes, consiste en una secuencia de areniscas de grano grueso a fino, cuarzosas, intercaladas con capas delgadas de lutitas bentoníticas, con pintas de colores verdes hasta amarillas y rojizas por alteración. En superficie, se tiene una secuencia de conglomerados, areniscas de grano grueso e intercalaciones de lutitas y tobas en el río Tumbes.

En la Caleta La Cruz, la Fm. Tumbes está constituida de abajo hacia arriba por lutitas arcillosas abigarradas, fisibles con algunos niveles muy finos de areniscas poco consolidadas y niveles amarillentos debido a la descomposición del yeso. La parte media consiste de areniscas tobáceas de grano fino a medio bien clasificadas, poco consolidadas, sigue areniscas de grano grueso beige, forma bancos compactos de 1 m. de espesor; sobre estos bancos se encuentran lutitas abigarradas con niveles delgados de areniscas, seguidas de un banco de arenisca dura. Se observan algunos niveles de conglomerados intercaladas con lutitas gris claras con tintes amarillentos y con areniscas muy finas a tobáceas.

- Depósitos Cuaternarios: Tienen amplia distribución en el área de estudio, se han reconocido acumulaciones de materiales que por su naturaleza y origen se considera como depósitos fluviales, aluviales y coluviales. Depósitos conformados por materiales heterogéneos, mayormente derivados litológicamente de rocas sedimentarias, variando en los tamaños de arcillas, limos, arena gruesa, gravilla, grava y eventualmente cantos rodados y bloques grandes, cuyas dimensiones reflejan la capacidad de transporte y erosión sufrida.

2.2.2 Piura:

El potencial minero más importante para la región y el país está ubicado en el desierto de Sechura que contiene grandes yacimientos de minerales no metálicos, especialmente, los fosfatos de Bayóvar, descubiertos en el siglo pasado, son las reservas más grandes y de mejor calidad en Sudamérica. Además de los fosfatos, estos yacimientos contienen también potasio y nitrógeno, encontrándose así en Sechura, los tres principales nutrientes agrícolas que podrían ser utilizados para la producción de fertilizantes compuestos de cualquier diseño.

Los únicos depósitos calcáreos de la región que ofrecen mejores perspectivas están en los sectores de la Bocana de Virrilá y Parachique. El aprovechamiento estaría dirigido a la producción de cemento, fabricar ladrillos o para afirmar carreteras.

La región rocosa está relacionada con el área que se eleva morfológicamente en la parte costera, con los macizos Illescas (al sur y sudoeste de la ciudad Bayovar), y Paita (al sur de la ciudad de Paita). Se trata de una región con un relieve morfológico acentuado. Desde la costa del Pacífico la zona de los macizos se eleva en una distancia muy corta (unos kilómetros) hasta una altitud de alrededor 500 m sobre el nivel del mar. Debido al clima árido, el área casi no está cubierta por vegetación y está expuesta a una alteración mecánica intensa. Los fuertes vientos predominantes del océano causan abrasión de la superficie de las rocas.

La subregión de carbonatos (calizas) está formada sobre todo por calizas biotriticas. Las rocas de esta subregión salen a la superficie sobre todo en las partes limítrofes de los macizos Illescas y Paita. Las secuencias de calizas están formadas por cuerpos fuertemente estratificados hasta macizos. Las rocas carbonatas contienen pequeños componentes de elementos siliciclásticos. La presencia de calizas está acompañada por fenómenos kársticos, en base a los afloramientos en las canteras se pudo observar que los materiales kársticos llegan hasta la profundidad de 3 m. Las rocas están plegadas y afectadas tectónicamente por un sistema denso de juntas continuas sub-verticales. El ambiente rocoso es fuertemente permeable y muy difícil de romper. Desde el punto de vista de la compresibilidad se trata de un ambiente rocoso prácticamente incompresible con alta resistividad.

Las rocas de esta región comprenden una amplia serie de sedimentos siliciclásticos de la edad terciaria. Con base a la litología prevaleciente y a la granulometría de sedimentos.

Los sedimentos de la subregión de sedimentos pulveroso-arenosos se caracterizan por una rápida variación de rocas polvosas estratificadas, rocas arcillosas intercaladas con estratos de areniscas. Los cambios litológicos suceden en el marco de la secuencia sedimentaria y se dan en unos cuantos centímetros. Esporádicamente hay presencia de capas fuertemente estratificadas hasta en bancos de areniscas que tienen un espesor de hasta unos decímetros. En las cuestas, en la orilla septentrional del Río Chira, están localmente presentes intercalaciones de bentonitas arenosas de espesor de unos decímetros hasta de algunos metros. Las rocas están plegadas y a menudo afectadas tectónicamente por fallas existiendo presencia de una red densa de juntas. Las juntas afectadas están rellenas por yeso, calcita o arcilla.

Las rocas se puede clasificar desde débiles hasta muy poco permeables y son bien fracturables. Solamente en el caso de presencia de capas más profundas de areniscas entonces pueden ser más difíciles de fracturar. El ambiente rocoso debido al clima árido es sano generalmente y no está afectado por la meteorización. Solamente en la superficie (hasta una profundidad de 1 m) existiendo presencia en algunas partes, sobre todo en los

terrenos planos, y cuando está alterado obtiene un carácter de suelo arcilloso. La resistividad de las rocas es generalmente intermedia. Cuando están húmedas las rocas arcillosas y bentonitas pueden hacerse plásticas, expandirse y aumentar su volumen; en cambio durante las sequías se contraen de nuevo.

De los minerales presentes en esta región se pueden aprovechar las inclusiones de bentonitas. Hay pequeños lugares de extracción al norte del pueblo de Tamarindo.

La subregión de sedimentos arenosos está formada generalmente por sedimentos marítimos depositados sub-horizontalmente que forman el relleno más joven de la cuenca de Sechura – formaciones terciarias Zapayal y Miramar. Se trata de areniscas calcáreas y silíceas de granulación fina hasta media con alternaciones de arcillas. Sobre todo en la parte superior de la secuencia sedimentaria existen estratos de diatomitas, tobas y bentonitas. También hay presencia de sedimentos con alto contenido de fosfatos. En la mayoría del área de esta región se encontró en las rocas un alto contenido de sales (halita, yeso), de manera aislada los yesos forman unos horizontes de hasta unos decímetros de potencia.

De los minerales en esta región se pueden aprovechar las bentonitas que se explotan en pequeñas canteras en el área al norte de Piura y cerca de La Unión.

2.2.3 Chiclayo:

De acuerdo a los estudios geológicos realizados por el INGEMMET y complementado con los estudios realizados en el proceso de ZEE - OT, se tiene definidas unidades litológicas, como son las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo, Chimú, La Leche, Formación Salas, y Tinajones, volcánico Oyotun, volcánico Llama, volcánico Porculla, Grupo Complejo Olmos, Grupo Goyllarisquizga, Grupo Mítu, grupo Puillicana, y Quinquílan, Monzonita.

- Formación Chimú: son depósitos de rocas conformadas por cuarcitas recrystalizadas, areniscas etamorfizadas y lutitas.
- Formación Chulec: está formada por lutitas, margas y calizas nodulares, que por estar compuestos por sedimentos mayormente blandos hace que la topografía desarrollada sea de lomadas con pendientes suaves.
- Formación Inca: formada por areniscas y lutitas con intercalaciones calcáreas caracterizándose por la naturaleza ferruginosa de sus sedimentos.
- Formación La Leche: formado por calizas intercalada con capas de lutitas y material volcánico, bastante fosilífera con fauna diversificada. El cuerpo principal de la formación son calizas grisáceas algo silicificadas y bien estratificadas en capas delgadas o medianas, intercaladas con lutitas, tobas y derrames.
- Formación Pariatambo: formado por calizas, lutitas, y tobas, en delgadas capas uniformemente estratificadas, esta formación es generalmente resistente a la erosión.
- Formación Tinajones: formado por lutitas, areniscas, tobas, grauvacas, niveles de areniscas cuarzosas, y conglomerados de cuarcitas y tobas.
- Formación salas: es una secuencia de rocas metamórficas predominantes filíticas y otras pizarrosas. Litológicamente está constituido por filitas argiláceas de color gris marrón a gris violácea, alternadamente con cineritas verdes pálidas o gris brumáceas; intercaladas con capas delgadas de cuarcitas de grano fino, blanco grisáceas.
- Grupo Goyllarisquizga: consiste en areniscas y cuarcitas de colores blanquecinas y marrones estratificadas en capas medianas, intercaladas con horizontes de lutita colores gris, marrón y rosada.
- Grupo Mitu: es una secuencia de capas intercaladas con conglomerados finos constituidos de filita y cuarzo lechoso.
- Grupo Puillicana: formado por calizas, margas, lutitas y areniscas; afloran dependiendo de la litología local por lo tanto es bastante variable, generalmente presenta escarpas más o menos pronunciadas, pero también terrenos ondulados.
- Grupo Quinquíñan: está formado por lutitas y margas con algunas intercalaciones calcáreas, presentando suelos de color marrón, consiste de lutitas friables gris

oscuro y margas azuladas en capas delgadas que intemperizan a marrón oscuro o marrón rojizo.

2.3.- ACCESIBILIDAD DE LOS MERCADOS:

2.3.1 Piura:

Para nadie que viva en Piura pasa inadvertido el enorme crecimiento de la construcción, registrado en los últimos años.

Es notable la cantidad de edificaciones nuevas, especialmente vivienda y algunos centros comerciales, producto del desarrollo económico y de las inversiones extranjeras que hay en el país.

Cementos Pacasmayo SAA es la única productora de cemento en el norte del país, lo cual le permite mantener una posición de liderazgo en dicha región, atendiendo prácticamente a la totalidad de dicho mercado.

2.3.2 Tumbes:

Siendo una de las regiones más pequeñas del país, la economía tumbesina aporta alrededor del 0.4% del PBI nacional. El gobierno regional viene trabajando en aspectos de infraestructura como agua potable y saneamiento, electricidad y caminos para hacer más atractiva a la región. El auge de la construcción en Tumbes se viene dando por proyectos de construcción para zonas turísticas, construcción de hoteles en las playas, en la ciudad, la edificación de centros comerciales.

2.3.3 Chiclayo:

Con el paso de las décadas, Chiclayo ha experimentado una serie de cambios. Hay que recordar que Chiclayo es polo de desarrollo del norte del país, pues por su ubicación

estratégica domina todas las regiones naturales del Perú y se conecta fácilmente con todo el norte. Se viene dando la construcción de centros comerciales, y otros proyectos.

2.4.- SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA:

2.4.1 Piura:

El suministro de energía eléctrica de la región Piura, se ha visto afectada en estos últimos años, por diferentes factores como la creciente demanda en el sector industrial – residencial, baja operatividad de las centrales Hidroeléctricas Poechos I, Poechos II y Curumuy debido a la frecuentes sequías que vienen afectando a las zonas alto andinas, mermando el caudal de las cuencas de las vertiente del Pacífico.

Actualmente se ha superado el problema del déficit energético con la instalación de otro transformador de 100 MW de potencia por parte de la empresa Repsa en la S.E. Piura Oeste, habiéndose duplicado la demanda a 200 MW, quedando un margen de reserva del 25%, que cubriría la demanda hasta aproximadamente 7 años. Del mismo modo el Ministerio de Energía y Minas ha tomado medidas para contribuir con el crecimiento económico que se presenta en la región, otorgando permisos para la construcción de varios proyectos de generación de energía eléctrica como; el Proyecto instalación del Segundo Circuito de Transmisión desde Talara a Piura, a cargo de la Empresa Consorcio Transmantaro S.A., el Proyecto de Ampliación de la Central Térmica de Malaca de 200 MW en el distrito de Pariñas a cargo de la Empresa Energía Piura S.A. del grupo Endesa que se encuentra operando , La Central Térmica del Tablazo de 30 MW en la ciudad de Paita a cargo de la Empresa Olympic que se encuentra también en operación y la Central Eólica Talara de 30 MW en el distrito de Pariñas, a cargo de la empresa Eólica del Perú que se encuentra en construcción , todas ellas contribuirán en el futuro a convertir a la región Piura, en un polo energético del Norte del País.

2.4.2 Tumbes:

Dar a conocer el sistema eléctrico a cargo del concesionario de electricidad (electro noroeste S.A.A.) en la región Tumbes, indicando las acciones que se toman para que dicha empresa actúe con la efectividad del caso cuando se presentan emergencias y/o atender a cualquier denuncia o reclamo de los usuarios del servicio en forma oportuna, así como las mejoras realizadas.

BPZ Energy invertirá US\$150 millones en la construcción de una central termoeléctrica en el poblado de Nueva Esperanza en Tumbes, la cual empezará a generar electricidad con gas natural del Lote Z-1 en el 2016.

El directivo informó que el proyecto cuenta con los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) aprobados por las autoridades nacionales. También dijo que el terreno destinado a la obra ya ha sido comprado, así como tres turbinas de 45 megavatios (MW) cada una, de modo que la central de ciclo simple -sistema menos eficiente en la producción de energía que las de ciclo combinado- podrá producir 135 MW de electricidad en total.

2.4.3 Chiclayo:

La falta de energía eléctrica es un problema que afecta no solo a las poblaciones de bajos recursos (principalmente), sino también a las personas de clase media o incluso a personas que lideran una empresa o una industria, este problema afecta tanto en el ámbito del hogar como en la económica, debido a que si es que hay una deficiencia de energía eléctrica en una localidad, las actividades económicas del lugar no van a progresar, por lo cual produce en ciertos casos, la pobreza tanto normal como extrema en dicha localidad. La región de Lambayeque no es ajena a este problema, debido a que la provincia de Chiclayo y Ferreñafe, tiene éste problema. A continuación se explicará cómo es que se produce éste problema y que causas genera.

Debido al grave problema que se viene provocando en la provincia de Chiclayo y la de Ferreñafe, se está proponiendo el empleo de la energía hidroeléctrica por medio de la centrales hidroeléctricas, empleando el agua del río Saña, esta solución que se propuso no es ajena a esta región ya que ya existen otras provincias que ya cuentan con centrales hidroeléctricas, e incluso el Banco de Proyectos de la provincia de Chiclayo y Ferreñafe están proponiendo esta solución, por medio Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), que la finalidad que tiene es que sus pobladores puedan beneficiarse con una energía a menor costo, disminuyendo sus gastos en insumos y combustibles.

2.5.- SUMINISTRO DE AGUA:

2.5.1 Piura:

El Proyecto Especial Chira-Piura es un sistema de riego integrado mediante la unión hidráulica de dos cuencas, la de los ríos Chira y Piura, mediante un canal que lleva las aguas de la cuenca del río Chira, regularizadas por el embalse de Poechos, a la cuenca del río Piura. El trasvase de las aguas se efectúa por medio de un canal revestido de grandes dimensiones. Al final de éste canal, en el paraje conocido por Curumuy, se ha construido una central hidroeléctrica, para aprovechar la diferencia de cota existente.

El Canal Miguel Checa: Canal principal, el más importante del distrito de riego del Valle del Chira. Es un canal de tierra de sección trapezoidal de 79 km de longitud. Con un caudal inicial de $19 \text{ m}^3/\text{s}$. Este canal permite el riego por gravedad de 14 480 ha.

La Presa de derivación Sullana, próxima a la ciudad del mismo nombre (Inaugurada en julio de 1997). Esta obra permite maximizar el uso de los recursos hídricos, recuperando anualmente 250 millones de m^3 de agua que se perderían en el mar.

En tomas de derivación hacia los canales Norte, la Minicentral hidroeléctrica y el canal Capilla-Jíbito. El vertedero está equipado con compuertas de 76 m de longitud con 8 compuertas radiales capaces de evacuar $3\,200 \text{ m}^3/\text{s}$, en casos de avenidas excepcionales. Con un vertedero fijo de 290 m, diseñado para evacuar $4\,400 \text{ m}^3/\text{s}$.

1. Canal Norte: Canal revestido de concreto, de sección trapezoidal, para un caudal inicial de 25.5 m³/s. Tiene como estructura más importante Sifón Chira de 687 m para trasvasar 6.90 m³/s.
2. Canal Sur: Canal revestido de concreto de sección trapezoidal; de 7 m³/s de capacidad y 25.75 km de longitud. Tiene como estructura más importante Sifón Sojo de 1,515 metros de longitud.

2.5.2 Tumbes:

De acuerdo al Contrato de Concesión, Aguas de Tumbes tiene a su cargo la rehabilitación, mejora, ampliación, mantenimiento, operación y explotación de la infraestructura y de los servicios de saneamiento en el ámbito de las provincias de Tumbes, Zarumilla, Contralmirante Villar y los distritos correspondientes, según el encargo de sus concedentes: los tres municipios provinciales.

Actualmente tiene una cobertura de 38 mil usuarios en 15 localidades. Su principal fuente de captación es el río Tumbes, de la cual opera la Planta de Tratamiento El Milagro (con dos plantas independientes) para abastecer a las localidades de Tumbes y Corrales. De la misma fuente se capta agua cruda para la Planta de Tratamiento La Peña que abastece a la localidad de San Jacinto y para las localidades de La Cruz y Zorritos lo hace desde el Canal Troncal de Irrigación de la Margen Izquierda hacia la estación ubicada en la Planta de Tratamiento Los Cedros.

Cuenta con 03 galerías filtrantes para abastecer las localidades de San Juan de la Virgen, Pampas de Hospital y Matapalo. Otros sistemas de captación a través de fuentes subterráneas que permiten el procesamiento y abastecimiento de agua potable a las localidades de Nuevo Tumbes (Andrés Araujo), Puerto Pizarro, Zarumilla, Aguas Verdes, Papayal, Uña de Gato y Canoas de Punta Sal.

2.5.3 Chiclayo:

El sistema de abastecimiento de agua para la ciudad de Chiclayo, tiene como fuente principal la Captación y Conducción de las aguas superficiales que abastecen al Valle Chancay - Lambayeque y afluentes, que discurren a la vertiente Atlántica a través de las obras de derivación de la primera etapa del Proyecto de Tinajones, tanto el río Conchano como el río Chotano aportan a la cuenca del Pacífico una masa anual de 250 millones de m^3 de agua incrementando las descargas del Río Chancay con una mayor disponibilidad del recurso hídrico en épocas de máximas avenidas. La captación se realiza a través de la bocatoma Raca-Rumi ubicado en el río Chancay con una capacidad de captación de hasta $75 m^3/s$, cuenta con dos compuertas radiales que comunican al canal alimentador a través de 6 cámaras desarenadoras, 3 compuertas tipo vagón que regulan el volumen de embalse y una líviadero de demasías que sirve para evacuar los excesos de agua por encima de los $300 m^3/s$, las aguas derivadas del Río Chancay por la bocatoma Raca-Rumi ingresan al Reservorio Tinajones a través de un canal alimentador de 16 km de longitud con una capacidad máxima de $70 m^3/s$.

A lo largo de la conducción hacia el Reservorio, el agua cruda pasa a través de "las Cascadas", estructura formada por gradas adyacentes que permiten salvar un desnivel de 42 metros, para amortiguar la caída y como consecuencia, disipar la energía que la masa de agua lleva consigo, para posteriormente ser almacenada en el Reservorio Tinajones que tiene una capacidad de embalse de 320 millones de m^3 , profundidad máxima de 37 metros, un espejo de agua de $20 Km^2$, además cuenta con un dique principal de 2440 ml. y tres diques secundarios. Luego, es conducida a través del canal de descarga que se inicia en el túnel de acero circular de 40 pulgs de diámetro y 380 mts de longitud empalmando al canal de descarga de 4 km. el que devuelve las aguas al Río Chancay -Lambayeque con una capacidad máxima de $70 m^3/s$, las mismas que llegan al Partidor «La Puntilla» construido también en el cauce del Río Chancay; en esta estructura se reparte las aguas del río Chancay tanto al Río Reque como al canal Taymi y Río Lambayeque pasando por el desarenador Desaguadero ubicado 2.5 km aguas abajo.

El agua cruda llega a las lagunas Boró por el Canal "Las Mercedes" las mismas que actúan como pre- Sedimentadores y como embalses de regulación en épocas de emergencia o estiaje.

2.6.- SUMINISTRO DE TRANSPORTE:

2.6.1 Piura:

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones está formulando el PROYECTO PERÚ, como el más importante Plan de Desarrollo Vial que impulsa el Gobierno, con el fin de mejorar la infraestructura vial de los principales ejes de integración y desarrollo de nuestro país y atender adecuadamente la creciente demanda de transporte de la actividad productiva y social.

Para concretar este proyecto, dado la magnitud de las inversiones y metas a lograr, se requiere unir esfuerzos entre el Gobierno Central, Regional, Local y la Empresa Privada, con quienes se ha iniciado coordinaciones a fin de definir en forma conjunta en qué carreteras se priorizarán las inversiones.

Para el caso de la Región Piura se ha identificado 03 Ejes:

- Trujillo – Chiclayo – Piura / Desvío Puerto Bayovar – Cruce Catacaos / Lambayeque – Cruce de Olmos.
- Sajino (Emp. R1N) – Paimas – Ayabaca – Huancabamba – Tambo/Ramal Huancabamba – Canchaque.
- Paíta – Sullana – Poechos – El Alamo (Frontera con Ecuador).

El programa Proyecto Perú, contempla una estrategia constructiva mediante 3 fases, lo cual nos permite contar con una mejora continua en las vías más importantes de nuestro país, considerando en la primera fase una intervención inmediata mediante pavimentos económicos, los cuales servirán de base para una segunda y tercera fase.

✓ Red vial Nacional:

- Construcción del puente Independencia (52.24 m). Puente está ubicado el km 10+300 de la carretera Piura – Catacaos – La Arena – Sechura, en el distrito de Catacaos, provincia de Piura.
- Nuevo Puente Internacional Macará (110 m): La construcción de este puente reforzará y facilitará los actuales vínculos entre las localidades de La Tina (departamento de Piura, Perú) y Macará (provincia de Loja, Ecuador).

2.6.2 Tumbes:

A la ciudad de Tumbes se puede llegar por vía terrestre o por vía aérea. La ciudad se encuentra en la carretera Panamericana que la une con toda la costa peruana y con el Ecuador. Los 1.256 km que la separan de la ciudad capital se cubren en un tiempo aproximado de 20 h mientras que, en 30 minutos, se llega a la localidad de Aguas Verdes donde está la frontera internacional con la república de Ecuador.

A 16 km al norte de la ciudad se encuentra el Aeropuerto Capitán FAP Pedro Canga Rodríguez que recibe vuelos diarios desde el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez de la ciudad del Callao. El tiempo de vuelo es de 1 hora 45 minutos.

El transporte público de la ciudad, al igual que muchas otras ciudades del Perú, se desarrolla principalmente a través de las mototaxis. Sin embargo, existen microbuses que cubren las rutas interurbanas uniendo la ciudad con poblados cercanos, así como automóviles llamados "colectivos" que hacen la ruta Tumbes - Zarumilla - Aguas Verdes.

Con pequeñas cadenas montañosas, praderas, y bosques al oeste, la mayor parte de Tumbes está situada entre las Grandes Llanuras de Perú y las Tierras Altas, una región especialmente propicia a las condiciones meteorológicas adversas.

✓ Red vial:

TABLA 18
RUTAS VIALES

DESCRIPCION / NOMBRE DE CARRETERAS		LONGITUD		TIPO DE SUPERFICIE		
		TOTAL	ASFALTADO	AFIRMADO	SIN AFIRMAR	TROCHA
		Km.	Km.	Km.	Km.	Km.
TUMBES	RUTA NACIONAL	198,70	198,70	0,00	0,00	0,00
	RUTA REGIONAL	317,50	35,80	28,00	19,70	234,00
	RUTA VECINAL	350,00	0,00	0,00	0,00	350,00
	TOTAL	866,20	234,50	28,00	19,70	584,00

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC
Elaboración: Dirección de Desarrollo del Producto Turístico - DNDT/VMT/MINCETUR

2.6.3 Chiclayo:

Chiclayo, por su ubicación sirve como punto de interconexión para diferentes ciudades del norte y nororiente del país, así tenemos que existen diferentes agencias de transporte que brindan servicios a diferentes destinos nacionales como: Lima, Trujillo, Piura, Cajamarca, Chota, Cutervo, Bagua Grande, Jaén, Chachapoyas y Tumbes.

Para atender adecuadamente la demanda de transporte, la ciudad cuenta con dos terminales terrestres, uno de ellos ubicado en la salida hacia el sur, que reúne a algunas empresas de transporte que tienen como destino principal la ciudad de Lima y el segundo terminal se ubica en la carretera Panamericana Norte y agrupa a las empresas que tienen como destino las ciudades del nororiente del país como Jaén, Bagua Grande o Chachapoyas.

Un buen número de empresas de transporte terrestre, cuentan con sus propios terminales, muchas de ellas incluso se ubican dentro del centro de la ciudad de Chiclayo y en zonas aledañas a ésta. Por lo que se puede ver un desplazamiento frecuente de buses interprovinciales por esta zona.

Regionalmente, existen diferentes servicios de transporte público (autobuses, furgonetas, taxis y mototaxis o trimóviles) que realizan desplazamientos dentro de la ciudad de Chiclayo pero fuera del cercado, entre los principales distritos y provincias de Lambayeque.

2.7.- DISPOSICION DE MANO DE OBRA:

2.7.1 Piura:

La distribución del empleo en la ciudad de Piura por tamaño de empresa se caracteriza por concentrar alrededor del 66 por ciento de los trabajadores en las empresas de 50 y más trabajadores (medianas y grandes). Como era de esperarse, estas empresas son las que generan la mayor parte del empleo formal, aunque las empresas de 10 a 49 trabajadores (pequeñas) generan un 34 por ciento, una proporción nada despreciable. Lo óptimo es que las pequeñas empresas, con el transcurrir del tiempo, crezcan y se conviertan en empresas de mayor tamaño, lo que favorece a una mayor competitividad (menores costos de producción) y a la creación de empleos de mejor calidad.

El sector donde se concentran los trabajadores de las medianas y grandes empresas es el de la industria, en la que las medianas empresas se dedican a la edición de periódicos, revistas y publicaciones periódicas, preparación e hilandería de fibras textiles, transformación y conservación de pescado y a la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal o animal. Mientras que las grandes empresas se dedican a la transformación y conservación de pescado y sus derivados, la elaboración de aceites de origen vegetal y animal y a la preparación de fibras textiles, y no olvidar las industrias de petróleo.

2.7.2 Tumbes:

Dentro del conjunto de estudio de las empresas formales de 10 y más trabajadores, podemos distinguir 2 grupos, las empresas de 10 a 49 trabajadores y las empresas de 50 y más trabajadores. Siendo las primeras las que concentraron la mayor demanda de mano de obra en el 2011, pues 6 de cada 10 trabajadores ejercieron sus labores en este segmento de empresas formales, mientras que el 38,3% restante fue absorbido por las empresas de 50 y más trabajadores.

Es importante notar que en estos 3 últimos años se ha insertado mayor número de personas a empresas de 10 a 49 trabajadores al pasar de 55,3% en el 2009 a un 61,7% en

el 2011, situación contraria sucede para las empresas de 50 a más trabajadores en donde la disminución fue de 6,4 puntos porcentuales entre los años de análisis.

La demanda de mano de obra en empresas de 10 a 49 trabajadores, se dio principalmente en la actividad servicios, seguido de extractiva y comercio, siendo la rama de actividad servicios la que concentra 43 de cada 100 trabajadores en este sector de empresas.

Haciendo un análisis de la estructura porcentual de la distribución de los trabajadores por ramas de actividad en los años 2009 - 2011; se percibe que en las empresas de 10 a 49 trabajadores las ramas de actividades servicio, extractiva y comercio son las que presentaron un crecimiento en la absorción de trabajadores; mientras que la rama de actividad transporte, almacenamiento y comunicaciones se vio reducida la concentración de mano de obra.

Cabe indicar que el incremento de la contratación de personal en la actividad transporte, almacenamiento y comunicaciones, se debe al aumento de los servicios de transporte interprovincial y por el incremento de las instalaciones de los servicios de televisión por cable. Asimismo, el incremento del empleo en la rama extractiva, se debe a la contratación de personal para realizar labores de secado, lavado, llenado, fertilización de los estanques, debido al aumento de la producción de langostinos.

2.7.3 Chiclayo:

La intermediación laboral es el conjunto de acciones que tiene por objeto poner en contacto a los ofertantes de trabajo con los demandantes de empleo para su colocación. La información estadística que se presenta es de gran utilidad puesto que permitirá conocer cómo ha evolucionado la intermediación laboral en la ciudad de Chiclayo.

Las cifras de oferta, demanda y colocaciones del año 2010 respecto al año anterior aumentaron debido a la implementación del Servicio Nacional del Empleo en la ciudad de Chiclayo porque generó una mejor difusión de dicho servicio.

Durante el mes de agosto y octubre del año 2010 se registró un mayor de oferta, demanda y colocaciones debido a la realización de convocatorias masivas y a la demanda del personal por parte de empresas agroindustriales.

2.8.- LEYES REGULADORAS:

El cemento en el Perú es uno de los productos con mayor número de normas, que datan del inicio del proceso de normalización en el país. Se cuenta con 7 normas sobre especificaciones, una de muestreo e inspección, 5 sobre adiciones y 30 sobre método de ensayo.

Con la aprobación en 1997 del Reglamento Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera, único instrumento ambiental vigente en el sector anterior a la Ley y Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA), aplicable a todas las personas naturales o jurídicas de los sectores público o privado que realicen actividad industrial manufacturera a nivel nacional, se establecen las obligaciones que deben cumplir las empresas industriales manufactureras para prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental.

Dado que en el 2009 el Reglamento de la Ley del SEIA, estableció que las autoridades competentes debían elaborar o actualizar sus normas relativas a la evaluación de impacto ambiental, adecuándolas a lo dispuesto en el Reglamento de la Ley del SEIA (con plazo hasta marzo del 2010), la Dirección Ambiental para la industria Manufacturera, y fue sometido a consulta pública en el 2010. Como parte de este proceso, el proyecto de Reglamento fue remitido al MINAM, a fin de contar con su opinión previa favorable. Posteriormente, sus aportes y comentarios fueron incorporados en una nueva versión, la que le fue remitida nuevamente y se encuentra desde enero de 2012, en revisión.

Con una nueva versión del referido reglamento aún en revisión, hasta la fecha ha venido aplicando lo establecido en el “Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera”. No obstante, este no recoge todos los preceptos del SEIA, la DAAI se ampara en lo establecido por la única disposición complementaria transitoria del Reglamento de la Ley del SEIA, que establece que “en tanto no se aprueben o actualicen los reglamentos de las autoridades competentes en materia de evaluación ambiental, (...) se

aplicarán las normas sectoriales (...) que se encuentren vigentes y de manera supletoria, las disposiciones del Reglamento”.

En la actualidad, la responsabilidad de la normalización se encuentra en el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI, creado por Ley N° 25868, promulgada el 18.11.92. La dación de normas se encuentra dentro de las atribuciones de una de las secretarías de INDECOPI, denominada Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. El INDECOPI, como los organismos que lo antecedieron y la práctica internacional, efectúa la normalización por intermedio de comités técnicos tripartitos que congregan a especialistas de la producción, el consumo y la tecnología. La normalización del cemento se lleva a cabo por el Comité Técnico Permanente de Normalización de Cementos y Cales, cuya gestión tiene a su cargo la Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM quien ejerce la secretaría técnica.

Inicialmente las normas adoptadas por la industria fueron las de American Society for Testing and Materials (ASTM), consignando en el rotulado del envase la designación correspondiente. La primera entidad de normalización fue el Instituto Nacional de Normas Técnicas Industriales y Certificación - INANTIC creado por la ley de promoción industrial, Número 13270 del 31-11-59. Entidad que aprobó una serie de normas sobre cemento. Posteriormente, éste organismo fue reemplazado por el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas -ITINTEC, comprendido en la Ley General de Industrial, D.L. 18350 promulgada el 27.08-70, organismo que actualizó las normas existentes y formuló otras nuevas.

2.9.- CLIMA:

2.9.1 Piura:

El clima en Piura es muy variado, contando con una diversidad de pisos altitudinales y climas. En la costa, las temperaturas medias anuales son de 27 y 25 grados centígrados en Talara, mientras que en Morropón y Chulucanas la temperatura puede llegar a los 31.6 grados centígrados y en Huarmaca que está a 2100 metros sobre el nivel del mar puede descender hasta los 14.6 grados centígrados.

El período de lluvias desde su inicio y toda su duración son regidos por la atmósfera que circula de la Amazonía, ya que el aire húmedo ingresa en masas de las lluvias que provienen del Atlántico llegando a regiones andinas de Piura y que en muchas ocasiones suelen llegar a los valles interandinos y zonas de baja altitud de la región.

Otros expertos afirman que el clima de Piura es del tipo cálido, desértico y afectado por los océanos ya que cuenta con una costa muy extensa, también tienen en cuenta la variedad climática que es afectada por el fenómeno de El Niño que trae consigo lluvias muy fuertes y cambios climáticos bruscos que inclusive hace escasear la pesca en la misma costa, pero gracias a la tecnología se prevee con tiempo la llegada de éste fenómeno.

El departamento de Piura está muy cerca de la línea ecuatorial, es por eso que el clima llega a ser cálido durante la mayoría del año, presenta un clima costero tropical en la zona yunga y de sabana tropical por el nivel del mar. Mientras por la zona de la sierra se tiene un clima subtropical y templado húmedo.

2.9.2 Tumbes:

El clima de la región de Tumbes es cálido, húmedo tropical y semiseco tropical, con una temperatura promedio de 27 °C. La temperatura máxima en verano es de 40 °C (en mayor a ésta si el evento El Niño está presente) y mínima de 18 °C en las noches de los meses de invierno. La temperatura raramente baja durante el día de los 26 °C. En los meses de primavera y otoño la temperatura oscila entre los 30 °C y 21 °C.

Debido a su situación geográfica tropical y de sabana tropical, tiene un clima cálido y semi-húmedo durante todo el año, siendo su temperatura promedio anual de 27°C. El verano es de diciembre a abril en donde temperatura máxima alcanza los 40°C y la mínima invernal (de junio a setiembre) es de 18°C.

La mayor parte del año la temperatura oscila entre los 30°C (día) y 22°C (noche) respectivamente.

2.9.3 Chiclayo:

Por estar la ciudad de Chiclayo situada en una zona tropical, cerca del Ecuador, el clima debería ser caluroso, húmedo, y lluvioso; sin embargo su estado es sub-tropical, de temperatura agradable, seca y sin lluvias; esto se debe a los fuertes vientos denominados "ciclones" que bajan la temperatura ambiental a un clima moderado durante casi todo el año, salvo en los meses veraniegos en los cuales la temperatura se eleva, lo cual es aprovechado para veranear en sus balnearios como Puerto Etén y Pimentel. Periódicamente, cada 7, 10, 15, años se presentan temperaturas elevadas, con lluvias regulares y aumento extremado del agua de los ríos.

2.10.- DISPOSICION DE DESPERDICIOS Y/O SUBPRODUCTOS:

2.10.1 Piura:

La actividad manufacturera regional se viene desarrollando en el marco de las exigencias derivadas de la globalización de los mercados, más aún como resultado de la vigencia de los distintos TLC suscritos. Si bien no se tiene una industria de envergadura, salvo la pesquera y la derivada de la explotación del petróleo, cada vez es más notoria la llegada de nuevas inversiones como lo son las plantas agroindustriales, las plantas de etanol, la de obtención de ácidos grasos omega 3, de fabricación de ladrillos industriales y las por construirse como las de cartón, de cemento, siendo menester promover y atraer a otros inversionistas de manera que la corriente de crecimiento comercial con las grandes tiendas y malls, tengan su correlato en el campo manufacturero.

En el propósito de conocer la situación del desenvolvimiento industrial desde la óptica de caracterizar el proceso de gestión de los residuos sólidos que las empresas de éste rubro generan, la Dirección Regional de Producción/ Dirección de Industria, en el marco del Convenio de Cooperación con la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Piura, aplicó una encuesta a empresas seleccionadas ubicadas en la zona Industrial de las ciudades de Piura y Sullana, en base a lo cual se cuenta con un Primer Documento de Línea Base indicativo de la situación de las empresas en este campo.

En el ámbito de las competencias sectoriales, corresponde a la Región, el gestar y participar en alianzas por los Municipios – Gobierno Regional – Empresas – Universidades, con miras a elaborar futuras estrategias que permitan mejorar la gestión ambiental, armonizando las actividades industriales con las exigencias modernas que rigen el desarrollo de las principales ciudades en las que viven y se concentra el mayor número de pobladores de un espacio geográfico como lo es la Región Piura.

2.10.2 Tumbes:

En el distrito de Tumbes se presentan deficiencias en el servicio de limpieza pública (morosidad poblacional y bajo presupuesto destinado para el rubro), que sumado a la carencia de educación poblacional e implementación de programas de sensibilización ocasiona la proliferación de “puntos críticos de acumulación de residuos sólidos”.

En la etapa de disposición final, también suceden deficiencias, debido que los residuos son dispuestos en el botadero municipal localizado en el sector denominado “Señal San Juan”, sin recibir ningún tipo de tratamiento. El Estudio de Selección de sitio se desarrolla en el marco del “Programa del Desarrollo de los Sistemas de Gestión de los Residuos Sólidos en zonas prioritarias” sobre la necesidad de implementar a futuro, la infraestructura de disposición final para un sistema adecuado de manejo de residuos sólidos durante los primeros 10 años de vida útil del proyecto.

El primer paso iniciado por la Municipalidad Provincial de Tumbes en el proceso de gestión de residuos sólidos, ha sido elaborar el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos (ECRS), el mismo que está establecido como un requerimiento de la Ley N° 27314.

Entonces se puede deducir, la necesaria instalación de la infraestructura para la disposición final y aprovechamiento de residuos sólidos, la misma que debe cumplir ciertos requisitos, empezando por la selección del terreno más adecuado que brinde las mejores condiciones para la disposición final, consiguiendo áreas que hayan sido consideradas improductivas o marginales, tornándose útiles para dicho proyecto.

Debemos indicar que la morfología o fisiografía particular de cada zona limita considerablemente el número de posibilidades para la disposición final.

2.10.3 Chiclayo:

La remediación del botadero de Reque es un punto de gran importancia para el estudio de mejoramiento de limpieza pública de la ciudad de Chiclayo, por tratarse de áreas que después de muchos años han sido contaminados por la disposición incontrolada de residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo. Estos residuos no sólo han contaminado el suelo y al paisaje, sino que contaminan a la atmósfera con las quemas continuas, malos olores y la generación de partículas de sustancias contaminantes, además de generar vectores de contaminación permanentes.

La remediación de las Pampas de Reque se toma en una necesidad para el éxito del estudio. Después de analizar los lugares que se deben aplicar, se propuso dos métodos: El del esparcimiento de las partes completamente degradadas; y el enterramiento de residuos sólidos de las zonas poco degradadas, por el método de zanjeo. Existen cinco zonas de disposición ubicada en los kilómetros 747.5, 750, 751, 752 y 753 de la carretera Chiclayo-Lima, con volúmenes de 383,500 metros cúbicos por el método del zanjeo a precio unitario de 2.5 soles/m³ que totaliza S/. 958,750 nuevos soles y 664,680 metros cúbicos de residuos por el método del esparcimiento, a precio unitario de 1 sol/m³, da 664,680 nuevos soles. El total será de S/. 1'623,430 soles a todo costo.

2.11.- EVALUACION POR EL METODO DE FACTORES DE BALANCEO:

**TABLA 19
EVALUACION DE LOS FACTORES**

FACTORES	VALOR DEL FACTOR	PONDERACION			TOTAL		
		PIURA	CHICLAYO	TUMBES	PIURA	CHICLAYO	TUMBES
Suministro de materia prima	25	25	25	23	625	625	575
Accesibilidad al mercado	18	18	15	16	324	270	288
Mano de obra	15	14	12	12	210	180	180
Energía eléctrica	14	13	12	12	182	168	168
Agua	13	11	12	11	143	156	143
Transporte	12	11	10	10	132	120	120
Clima	10	10	10	8	100	100	80
Almacenamiento	8	8	6	7	64	48	56
Disposición de desperdicios	6	5	4	4	30	24	24
Factores comunitarios	5	5	3	5	25	15	25
TOTAL					1835	1706	1659

*Fuente: Autor

El lugar propicio donde se colocaría la planta sería en Piura, y en la localidad de Piura sería en Paita que está ubicado a 57 Km de la ciudad de Piura.

CAPITULO III

SELECCIÓN DEL PROCESO

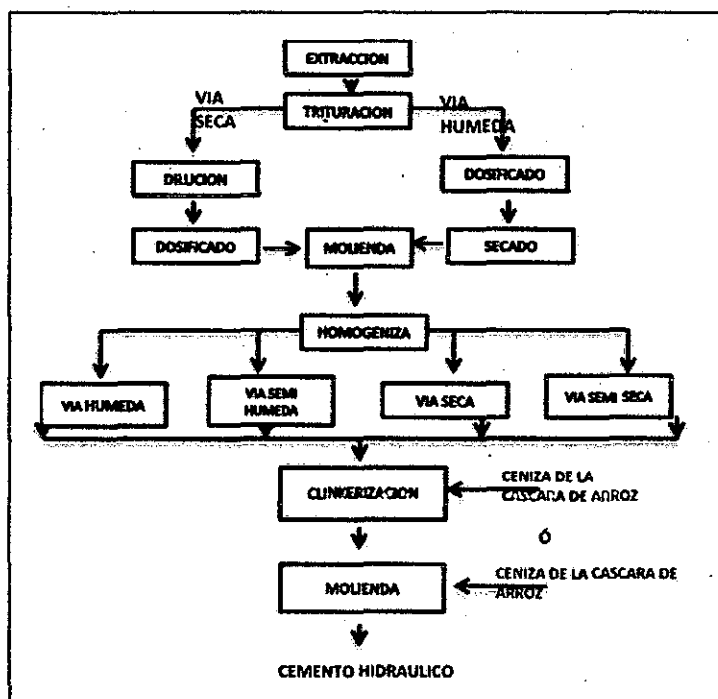
3.1.- PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO:

Para transformar la cáscara de arroz en puzolana se requiere dos procesos esenciales: la combustión de la cáscara de arroz hasta convertirla en cenizas con la menor cantidad de materia orgánica posible; y la molienda de la ceniza hasta alcanzar una finura determinada.

Se ha demostrado que las adiciones de las puzolanas tienden a mejorar algunas propiedades del cemento, tanto en estado fresco como endurecido. En el estado fresco provocan un cambio positivo en las propiedades reológicas del cemento, tendiendo a mejorar la consistencia y la cohesión de la mezcla y a disminuir el fenómeno de la segregación. En el estado endurecido mejoran la resistencia mecánica, el módulo de elasticidad, la estabilidad química, la impermeabilidad y la durabilidad.

A continuación se describirá el proceso y la selección del proceso idóneo, esto se verá reflejado en un diagrama de flujo para después pasar a la explicación de cada etapa:

DIAGRAMA 1
PROCESO DE OBTENCION DEL CEMENTO
HIDRAULICO



3.1.1 Extracción de las materias primas:

El proceso de fabricación del cemento se inicia con los estudios y evaluación minera de materias primas (calizas y arcillas) necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción del Clinker.

Como segundo paso se complementan los estudios geológicos, se planifica la explotación y se inicia el proceso: de perforación, quema, remoción, clasificación, cargue y transporte de materia prima.

Dada la variedad y diferente grado de complejidad que presentan los distintos yacimientos, es difícil sacar conclusiones prácticas sobre los métodos de explotación más idóneos que permitan un menor consumo de energía y de explosivos en esta fase del proceso. Las calizas pueden ser de dureza elevada, de tal modo que exijan el uso de explosivos y luego trituración, o suficientemente blandas como para poderse explotar sin el uso de explosivos.

Las materias primas esenciales: calizas, margas y arcillas que son extraídas de canteras, en general próximas a la planta, deben proporcionar los elementos esenciales en el proceso de fabricación de cemento: calcio, sílice, aluminio y hierro.

Muy habitualmente debe apelarse a otras materias primas secundarias, bien naturales (bauxita, mineral de hierro) o subproductos y residuos de otros procesos (cenizas de central térmica, escorias de siderurgia, arenas de fundición) como aportadoras de dichos elementos.

El material resultante de la voladura es transportado en camiones para su trituración, los mismos que son cargados mediante palas o cargadores frontales de gran capacidad.

3.1.2 Trituración:

Las materias primas naturales son sometidas a una primera trituración, bien en cantera o a su llegada a la fábrica de cemento donde se descarga para su almacenamiento.

La trituración de la roca se realiza en dos etapas, inicialmente se procesa en una chancadora primaria, del tipo mandíbula que puede reducirla de un tamaño máximo de 1.5m hasta los 25cm. El material se deposita en un parque de almacenamiento. Seguidamente, luego de verificar su composición química, pasa a la trituración secundaria, reduciéndose su tamaño a 40 μm aproximadamente. El grado de avance a alcanzar en la trituración viene marcado por un equilibrio entre los costos por abrasión de la máquina (normalmente de elevada inversión) y la consiguiente disminución de los costos energéticos en la posterior molienda.

El material triturado se lleva a planta propiamente dicha por cintas transportadoras, depositándose en los correspondientes silos en un hangar preparado al efecto. El resto de las materias primas necesarias en el proceso son asimismo almacenadas en dicho hangar una vez recepcionadas en fábricas.

El tamizado y la clasificación también se emplean en la industria del cemento con vistas a conseguir una mayor economía en las operaciones de trituración y molienda. En cambio, la beneficiación y concentración de las materias primas tan solo se aplican en la industria del cemento en casos muy excepcionales.

3.1.3 Preparación de las materias primas:

A continuación se procede a la dosificación de los componentes, (algunos de los elementos de ajuste puede adicionarse posteriormente). Cabe aquí hacer una distinción entre los procesos de vía húmeda y vía seca ya que en aquellos se realiza una adición de agua en la totalidad o en algún componente de la mezcla hasta formar una pasta apta para ser conducida por bombas y tuberías, pudiendo completarse posteriormente esta dilución en la molienda.

3.1.3.1 Vía seca: En el proceso por vía seca, se vierten los materiales, en las proporciones correctas desde las tolvas de materia prima, en una tubería especialmente diseñada donde es secado por el flujo de aire caliente que

transporta las partículas finas y deja caer las partículas gruesas en un molino de bolas, luego de molido el material es nuevamente seleccionado. Las partículas finas se conducen a un ciclón centrífugo donde son separadas del aire y transportadas a los silos de crudo. En los silos el material es nuevamente homogeneizado con aire a presión inyectado desde un cuadrante de la base mientras que los otros tres sirven de aireación. El aire a presión permite un movimiento ascendente de una columna de material, y el material de las columnas lindantes se mueve lateralmente hacia el cuadrante aireado.

3.1.3.2 Vía húmeda: Si la arcilla es bastante húmeda y tiene la capacidad de disolverse en el agua, debe ser sometida a la acción de mezcladores para formar la lechada, esto se realiza en un molino de lavado, el cual es un pozo circular con brazos revolvedores radiales con rastrillos, los que rompen los aglomerados de materias primas. Al producto se le llama pasta, la que se bombea a tanques de homogenización que reciben el nombre de "balsas". Las balsas consisten en tanques cilíndricos con un equipo que gira en torno a un eje central y con una serie de aspas que a su vez giran suspendidas en un soporte principal con el objeto de impedir la sedimentación de los sólidos mediante agitación mecánica y bombeo de aire comprimido.

La finalidad del proceso de preparación de las materias primas es convertirlas en un polvo (crudo o harina de cemento) de composición homogénea y de características extremadamente precisas, adecuado para ser sometido al proceso de cocción. Dicho proceso está relacionado, básicamente, con la selección de los métodos de ingeniería más eficientes para la trituración, secado, molienda, mezclado y transporte de sólidos entre las distintas etapas. El consumo de energía es considerable, sobre todo en la molienda, y se controla constantemente intentando mejorar el rendimiento energético.

3.1.4 Molienda:

El proceso de molienda consiste en la reducción de los materiales ya triturados a polvo, y su objetivo es el aumento de la superficie específica del material (siempre de acuerdo

con una distribución granulométrica establecida), concepto que se extiende al de la obtención de una adecuada reactividad para la próxima etapa del proceso de fabricación del CLINKER, que es la cocción. La molienda condiciona el posterior proceso de cocción del crudo y viceversa.

¿Por qué se realiza la molienda? lo contestan los dos factores siguientes:

- 1.- Para poder mezclar íntimamente diferentes materias primas y llegar a un producto con una composición uniforme (Que tenga el mínimo número de microinhomogeneidades).
- 2.- Para poder combinar químicamente las materias primas con un mínimo de energía térmica. Entonces lo que se quiere es:

Llegar a un tamaño de partícula especificado por las condiciones de homogeneización y clinkerización, con el mínimo consumo de energía.

Como se ve de la energía consumida durante la preparación del crudo, la mayor parte corresponde a la molienda, ocurriendo lo mismo con los costos de explotación.

Las etapas de desmenuzamiento, en general, son las siguientes:

- 1.- Arranque del material en la cantera.
- 2.- Trituración primaria y, eventualmente, secundaria. (< 25 - 30 mm.)
- 3.- Molienda de las materias primas (5 - 15 %)
- 4.- Molienda del carbón. (10 - 20 %)
- 5.- Molienda del Clinker. (0 - 5 %)

De la energía suministrada a una máquina de desmenuzamiento solamente una pequeña parte se utiliza en trabajo de desmenuzamiento (2 - 10 %), siendo el resto pérdidas que se deben a:

1. Rozamiento de las partículas del material y de los cuerpos molidores (Bolas, rodillos, etc.) entre sí o con el revestimiento del molino (placas de blindaje), que se transforma en calor.
2. Desgaste de los elementos de molienda. Deformaciones de dichos elementos, elásticas y, en cierta medida, plásticas.
3. Deformación elástica del material a moler antes de que se produzca su rotura o fractura.
4. Deformación plástica del material a moler.
5. Pérdidas mecánicas en rodamientos, reductores, etc.
6. Formación de aglomerados de partículas.
7. Elevación del material en el molino.
8. Emisión de ruido.

Sin embargo, la energía aplicada a la molienda se puede considerar baja en relación con las ventajas que con ella se obtienen en los procesos posteriores de homogeneización y de cocción del crudo y de hidratación del cemento. Dichos procesos químicos dependen de la finura. Por esos motivos, se han hecho muchos esfuerzos con el fin de definir las relaciones numéricas que existen entre la finura y la energía necesaria para el desmenuzamiento. Se mencionan dos vías de molienda: vía húmeda y vía seca.

3.1.4.1 Vía húmeda: En el proceso por vía húmeda, la materia prima triturada ingresa al molino de bolas con arcilla dispersa en agua. Como, resultado de la molienda se obtiene un barro que es conducido a grandes piletas donde es agitado mecánicamente para evitar que sedimente o haya separación de las partículas. El barro es un líquido cremoso con un contenido de 35 a 45 % de agua. Existen varias piletas que contienen barros de diferente composición que son utilizados para ajustar la composición final del barro a hornear.

La molienda del crudo se puede efectuar en varios escalones o en un molino único con varios compartimientos.

La selección del sistema de molienda se puede realizar tomando en cuenta los sistemas básicos:

A) Molienda en circuito abierto: En el que el material que abandona el molino ya no retorna al mismo. El elevado consumo energético y su poca flexibilidad al tratar de variar la finura del producto hacen que tienda a abandonarse.

B) Molienda en circuito cerrado: En el cuál un sistema de separación establece dos flujos, uno de gruesos que retornan al molino y otro de finos que se incorporan al proceso principal.

Existen varias instalaciones de molienda- secado, que trabajan en circuito cerrado. Las principales son:

1. Molienda-secado en molinos de tubo.
2. Desecación en el separador de aire.
3. Molienda - secado en molinos barridos por aire.
4. Molienda - secado en molinos verticales de rodillos.
5. Molienda-secado en molino aerofall.
6. Molienda-secado en molino doppelrotator.

Se describirá a continuación el ítem 1 que es el que se usará en este proyecto.

1.- Molienda – secado en molinos tubulares: El esquema de la instalación correspondiente puede verse en la figura 2, en la que se representa una instalación de molienda secado en circuito cerrado. El molino está dotado de una cámara de secado previo, cuyo objeto es lograr una mayor capacidad de secado. Está va provista de paletas de chapa (Figura 3) cuya misión es elevar al material y no contiene elementos molidores. Al levantar el material se mejoran las condiciones de intercambio de calor entre los gases y el material, al aumentar la superficie libre del material. Entre la cámara de secado y la cámara de molienda existe un diafragma de separación. Los dos muñones de apoyo del molino sirven para la

entrada y salida del material y de los gases. En esta disposición la cantidad de gases que entran está limitada por el diámetro de los muñones, así como por la permeabilidad del diafragma.

FIGURA 2
INSTALACION DE MOLIENDA EN CIRCUITO CERRADO

adecuada para obtener productos finales de alta superficie específica, especialmente para cemento.

- 1 Tolva de alimentación
- 2 Tolva de alimentación
- 3 Básculas dosificadoras de cinta
- 4 Cinta transportadora de alimentación
- 5 Molino tubular
- 6 Carcasa de descarga
- 7 Aerodeslizador
- 8 Elevador de cangilones
- 9 Aerodeslizador
- 10 Separador neumático de ciclones satélites
- 11 Canaleta de retorno de gruesos, con báscula
- 12 Aerodeslizador para producto acabado
- 13 Separador primario
- 14 Instalación de captación de polvo
- 15 Ventilador de despolvado

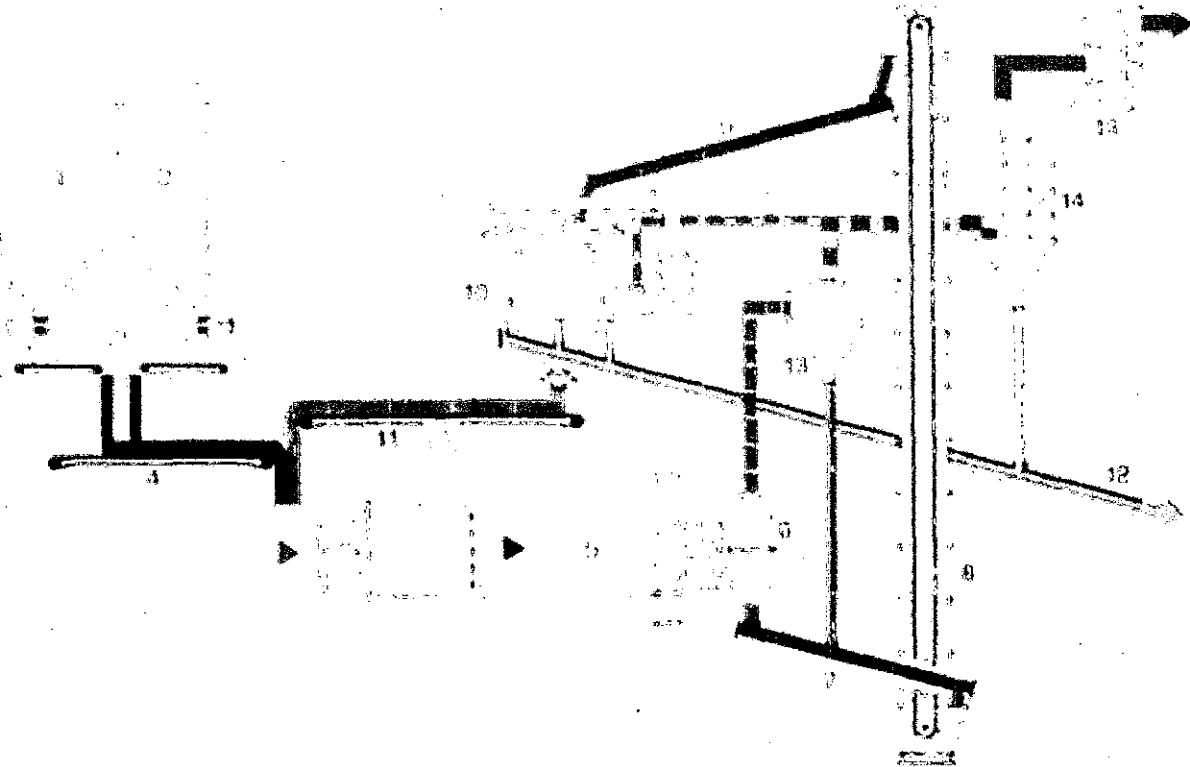
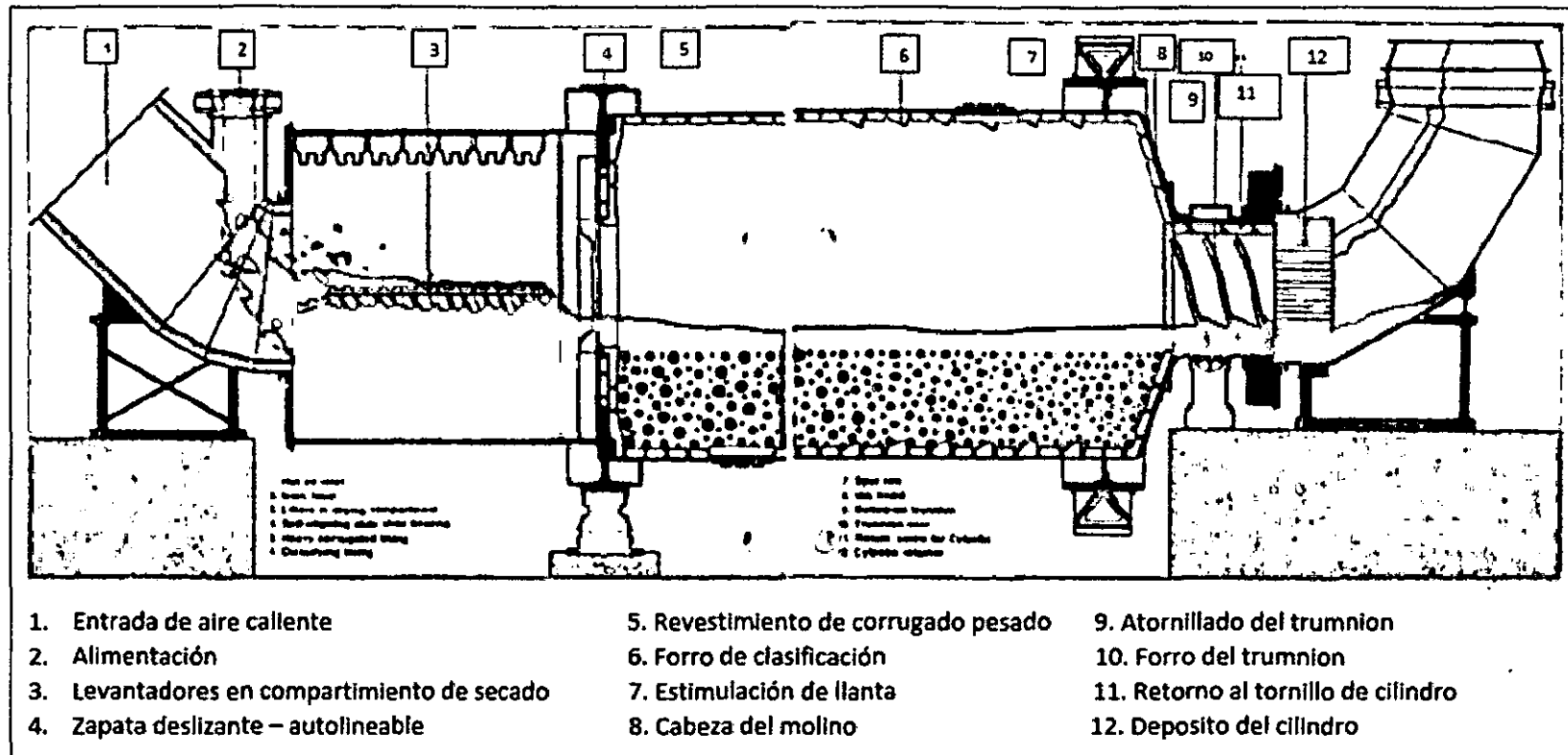


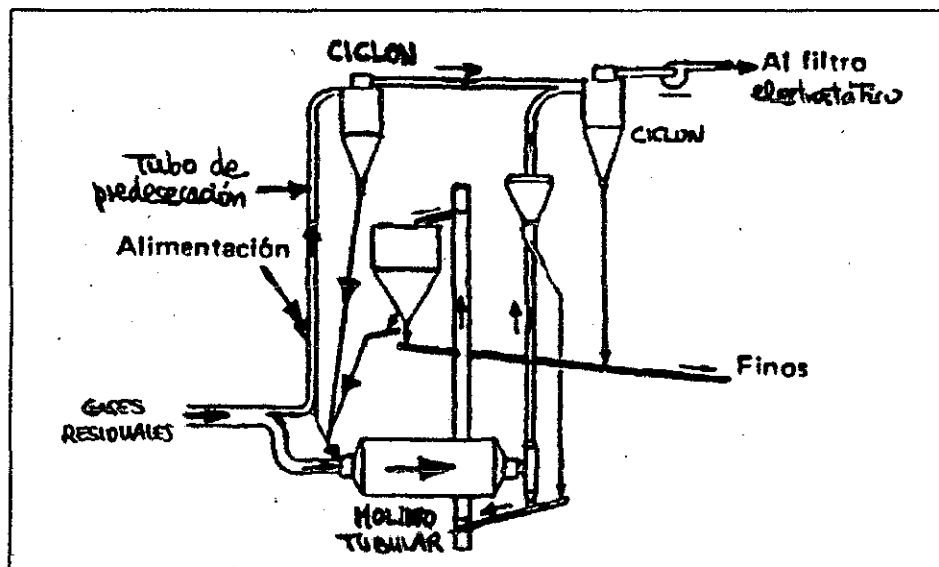
FIGURA 3
SECADO CON CAMARA DE PRE DESECACION EN EL MOLINO



En la figura 4 se representa una instalación de molienda - secado, en la que la desecación previa se realiza en una tubería especialmente proyectada para ello en la cual se vierte el material a secar.

El flujo de gases de secado se divide en dos, una parte va al molino y otra al tubo de pre-desecación, con lo que las partículas finas son arrastradas por la corriente gaseosa hacia arriba y durante dicho movimiento las seca. A continuación se produce una separación mediante un ciclón, cuyo rechazo pasa al molino. Por su parte los trozos gruesos caen y van directamente al molino. Esta disposición presenta una capacidad de secado mayor que la anterior, ya que el secado en el tubo ascendente es muy eficiente al estar el material en suspensión en los gases. Sin embargo, es una instalación más compleja.

FIGURA 4
INSTALACION MOLIENDA-SECADO CON TUBERIA DE PREDESECACION



3.1.5 Homogenización:

Dado que las materias primas utilizadas para la fabricación del Clinker de cemento deben cumplir unas especificaciones definidas, antes de proceder a su cocción es necesario

realizar un ajuste definitivo. Esta operación se conoce con el nombre de homogenización.

En ésta fase del proceso se determina la composición elemental del crudo resultante y se establecen relaciones numéricas entre los componentes químicos más importantes resultando una serie de módulos.

De la eficiencia de la homogenización depende en buena medida la marcha regular del horno, teniendo por consiguiente una gran incidencia en el consumo energético de la planta.

Las instalaciones de homogenización en los procesos de vía seca pueden ser discontinuas o continuas. En estas últimas es necesaria una pre-homogenización a partir de unas materias primas previamente ajustadas.

Los métodos que se usan en la fabricación del Clínter una vez que el crudo ya está homogenizado son los siguientes:

3.1.5.1.- Proceso por vía húmeda

3.1.5.2.- Proceso por vía seca

3.1.5.3.- Proceso por vía semi-húmeda

3.1.5.4.- Proceso por vía semi-seca

Desde un punto de vista histórico, el proceso de fabricación del Clínter ha pasado por el cambio de la vía húmeda a la seca. La vía húmeda permitía un manejo y una homogeneización más fácil de las materias primas, especialmente en los casos en que están húmedas o son pegajosas o cuando exhibían grandes fluctuaciones en su composición química. Sin embargo, con los avances de la tecnología es posible preparar una mezcla homogénea de las materias primas usando la vía seca, es decir sin añadir agua para preparar una papilla.

En este proyecto por la composición de la materia prima entra en el proceso de vía semi-húmeda y en él nos vamos a centrar.

3.1.5.3 Proceso por vía semi-húmeda: En el proceso por vía semi-húmeda, que también se puede denominar proceso Lepol, a las materias primas en forma de papilla se les elimina agua mediante filtro prensa, alcanzándose una humedad del 16-21%. A continuación las tortas que salen de los filtros pueden procesarse en máquinas extrusoras para formar pellets que se alimentan a una parrilla con tres cámaras o bien, dichas tortas, se envían a un depósito intermedio antes de ser alimentadas a trituradoras-secadoras que producen un crudo seco que alimenta a una torre intercambiadora de calor con o sin sistema de pre calcinación.

Los sistemas de trituración-secado, operando todo el tiempo en paralelo con el horno, tienen un elevado grado de recuperación de energía haciendo uso de los gases de salida del horno y de la salida del aire del enfriador.

Las ventajas más importantes que presenta este sistema son:

- No hay problemas con los crudos que tienen un alto porcentaje en álcalis.
- No necesita calor en la molienda del crudo.
- Los gases abandonan la parrilla a baja temperatura.
- Buena dosificación en la alimentación al horno.

Descripción del proceso semi-húmeda de la fabricación del Clínter:

1. se extrae las materias primas provenientes de la cantera.
2. Las materias primas son colocadas en tolvas.
3. Luego son llevadas al molino hasta obtener la granulometría adecuada, adicionándole agua para mejorar el proceso de conminución y evitar las partículas en suspensión.
4. El producto obtenido del molino es llevado a un filtro prensa, y los lodos es atrapado en una fosa para un tratamiento de agua y una posterior recirculación de lodos.
5. La torta de filtración es llevada hasta el primer ciclón de mi sistema de pre calcinación y así pasa por todos los ciclones que se encuentran a diferentes temperaturas hasta llegar al primer ciclón.
6. En el horno rotatorio es convertido en Clínter y es enfriado rápidamente hasta una temperatura ambiente aproximadamente.
7. Las partículas que no se llegaron a convertir en Clínter son empujadas por los ventiladores que se encuentran en la parrilla hasta un contenedor de partículas las cuales son llevadas a un electro precipitador y son recirculadas hasta el primer ciclón del sistema de pre calcinación.
8. El Clínter es almacenado en tolvas junto a los componentes adicionales como es el yeso, para luego pasar una molienda final.
9. El producto final es envasado y almacenado para su venta.

3.1.6 Secado:

La evaporación del agua libre es un proceso endotérmico que se realiza a temperaturas de 100°C o menos y que exige una aportación de calor suficiente para efectuar el proceso:



La evaporación del agua libre a 100°C requiere 2253 kJ/kg de agua.

Las materias primas que se utilizan para la fabricación del CLINKER y del cemento, en general, tienen un contenido en humedad, que las hace no ser adecuadas para el proceso por vía seca, por tanto, han de ser secadas previamente. El contenido en humedad de las materias primas es:

Caliza Hasta el 8 %.

Margas Hasta el 15 %.

Arcilla y limo Hasta el 20 %.

Escoria de horno alto. Hasta el 10 %.

La finalidad del secado es eliminar la humedad de los materiales, es decir el agua contenida en ellos y que puede presentarse como:

1. Libre, presente en la superficie de los granos.
2. Capilar, es decir, relleno de los huecos de su estructura.
3. Adsorbida sobre la superficie del material.

El agua combinada o de cristalización que aparece en los materiales arcillosos, por ejemplo, en la caolinita, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, no se puede considerar como humedad.

En el proceso por vía seca el secado se realiza, generalmente, durante la operación de molienda utilizando la energía de los gases de salida del horno. Sin embargo, también existen hornos rotatorios largos, para vía seca, sin dispositivos internos y con dispositivos internos para el intercambio térmico, tales como cadenas, puentes de cerámica, etc.

En el proceso por vía húmeda existen las siguientes modalidades:

1. El horno largo, para vía húmeda, el cual cuenta con dispositivos internos para intercambio térmico tales como cadenas, celdas y elevadores del material.
2. El horno corto, para vía húmeda, sin dispositivos internos, pero con intercambiadores de calor externos al horno para secar parcialmente el lodo o pasta de crudo. A estos intercambiadores se les conoce con las denominaciones de "secador de pasta", "concentrador" y "calcinador".
3. El horno, para vía húmeda, de longitud media, dotado de secado parcial, de tipo mecánico, como filtros de aspiración y filtros prensa. Para el desmenuzamiento y secado del resto de humedad de las tortas de crudo con 15-20 % de humedad

suministradas por el filtro, el horno dispone de cadenas en un tramo de corta longitud.

4. El horno corto, para vía húmeda, sin dispositivos internos, pero con deshidratadores mecánicos. En éste caso las tortas procedentes de los dispositivos de deshidratación preliminar se elaboran para estructurarlas en formas, que pasan a un pre calentador de cuba vertical (pre calentador Davis) o a un pre calentador de parrilla (parrilla Polysius).

3.1.6.1 Eliminación de agua en las pastas: En la vía húmeda la eliminación del agua de la papilla puede realizarse totalmente dentro del horno rotatorio (Zona de secado) o bien una parte de ella puede eliminarse fuera del horno, con lo cual puede disminuirse su longitud.

La disminución de agua en las pastas de crudo para la vía húmeda, antes de su introducción en el horno, se realiza mediante los siguientes procedimientos:

- A) Químicamente, por adición de fluidificantes.
- B) Mecánicamente.
- C) Intercambiadores externos de calor (Secaderos de papilla).

Para este proyecto se describirá los procedimientos del ítem B y C

B) Eliminación del agua por vía mecánica: La eliminación del agua de la papilla por vía mecánica se realiza mediante la operación de filtración.

Los filtros adecuados son los de tambor o de discos, ya que son de marcha en continuo. Se han introducido también los filtros prensa, que suministran tortas que por desmenuzamiento dan formas de tamaño reducido con un 18-20 % de agua. Sin embargo, el desmenuzamiento supone costos adicionales. Además los filtros prensa trabajan de forma discontinua y no son adecuados dado el gran volumen de material que se maneja en la industria del cemento.

El tratamiento mecánico de las pastas permite acortar la longitud de los hornos rotatorios para vía húmeda.

C) Eliminación del agua en intercambiadores de calor:

C.1) Eliminación del agua en intercambiadores de calor externos (Vía húmeda): El calcinador de la Miag (Braunschweig) y el concentrador de la Krupp (Rheinhausen) son dispositivos que realizan fuera del horno el precalentamiento o el pre-secado de la pasta.

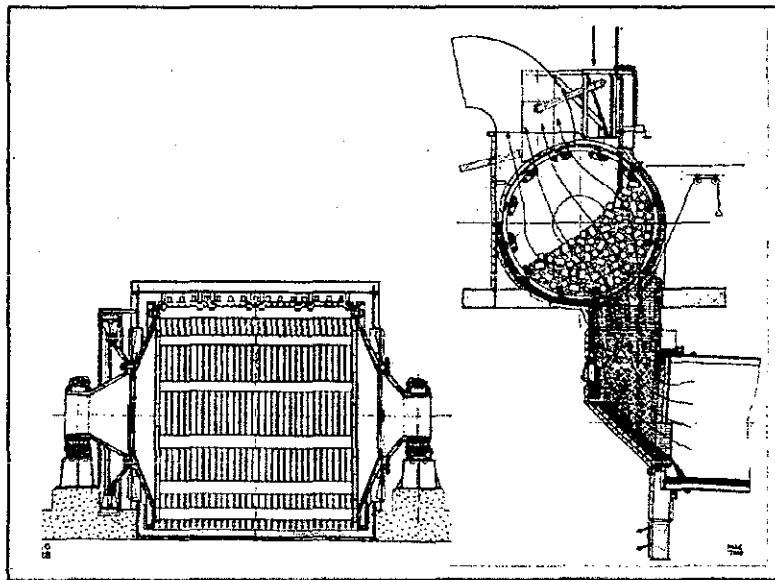
El calcinador Miag está instalado justo a la entrada del horno rotatorio y consiste, fundamentalmente, en un tambor rotatorio ($L = 2.4.5.m$ y $L \sim D$), cuya parte cilíndrica va provista de un emparrillado con aberturas uniformes (figura 6 a). El tambor está lleno hasta el 50 % de su volumen con cuerpos de relleno, que actúan de elementos intercambiadores de calor y gira alrededor de su eje, a una velocidad angular de 1.6 a 1.1 vueltas/min, según el valor de su diámetro. El tambor se halla dentro de una envolvente de chapa, sobre la cual está situado el aparato distribuidor de la pasta, operación que se realiza de modo regular en toda la longitud del tambor.

La pasta de crudo, con aproximadamente un 35-45 % de agua, fluye del aparato distribuidor y penetra en el cilindro a través de las aberturas de la parrilla, con lo que cubre la superficie caliente de los cuerpos de relleno. A consecuencia del lento movimiento del tambor se produce una variación permanente en los múltiples canales derivados, muy estrechos por la presencia de los cuerpos de relleno. Esto produce un intercambio intensivo entre los gases del horno y la pasta. En la (figura 6 b) se muestra esquemáticamente el flujo de la pasta y de los gases en el tambor calcinador.

Los gases abandonan el calcinador a 125°C. Debido al frotamiento de los cuerpos de relleno entre sí, la pasta se subdivide y queda reducida a la forma de gránulos, los cuales caen al horno a través de las aberturas de la parrilla. La humedad residual de los gránulos es de un 10-12 %.

La aplicación del calcinador depende de las propiedades, de las materias primas. La pasta ha de poseer cierta plasticidad para garantizar la formación de los gránulos y así evitar el arrastre de polvo por medio de los gases.

FIGURA 6
SECADERO CALCINADOR DE PASTA
a) Sección longitudinal b) Sección transversal



3.1.6.2 Tipos de secador: Junto al secado simultáneo con la trituración/molienda o con la molienda, en la industria del cemento también se utilizan:

- Secaderos de tambor.
- Secaderos rápidos.
- Secaderos flash

Una de las particularidades del secado en el proceso de vía seca es que se utilizan para ésta operación los gases de salida del horno y del enfriador. Se pueden secar materiales, sin consumo energético, con una humedad entre el 6 y el 12 % según el caso y el procedimiento. Además se tiene la ventaja de acondicionar los gases del horno o el aire del enfriador para su desempolvado, bajando su temperatura y aumentando su punto de rocío. Una parte del secado puede tener lugar en el separador.

3.1.7 Hornos de pre-calcinación:

En sistemas de hornos de pre-calcinación, una mayor parte del combustible es quemado en el calcinador, donde el contacto íntimo con grandes cantidades de cal libre provee condiciones ideales para la absorción del SO_2 generado por la combustión.

En el sistema de horno con pre-calcinador del tipo ILC (sistema de calcinación en línea), sin by-pass, los gases del horno también atraviesan el calcinador y el SO_2 generado en el horno es absorbido muy eficazmente por la harina cruda calcinada a la temperatura de, aproximadamente, 900 °C.

Pero también en los sistemas de pre-calcinación de los tipos-SLC (sistema de calcinación de línea separada) o SLCS (sistema de calcinación de línea semi separada), los gases del horno entran en contacto con suficiente cal libre en el tubo ascendente del horno y en los ciclones inferiores para prevenir que el SO_2 , procedente del horno, pase por los sistemas de pre-calentadores.

Por eso es que la única fuente de emisión de SO_2 del pre-calentador, en un sistema de horno con pre-calcinación, es cualquier contenido de no sulfatos en la harina cruda que genera el SO_2 en las etapas superiores del pre-calentador.

Muchos de los hornos con pre-calcinador están provistos de un by-pass de gases del horno. Normalmente, los gases del horno son enfriados por dilución de aire a, aproximadamente, 400°C cuando salen del tubo ascendente del horno y la salida del by-

pass ha sido colocada para asegurar la menor concentración de polvo posible en los gases de by-pass. Esto significa una limitada posibilidad de absorción del SO₂ extraído con los gases del horno en el conducto de by-pass. Así es como, muy a menudo, más de un 50 % del SO₂ contenido en los gases de by-pass del horno entrarán en la atmósfera vía la chimenea.

En una sola instalación de by-pass de sistema de horno pre-calcinador se ha medido una concentración del SO₂ de hasta $4000 \frac{mg}{Nm^3}$. Esto evidencia que aún un volumen relativamente pequeño de gases de by-pass está en condiciones de proveer una considerable contribución a la emisión total del SO₂ de sistemas modernos de horno.

Debe tenerse en cuenta que el factor de evaporación, para los componentes de azufre en el horno y, consecuentemente, la emisión del SO₂ del by-pass, puede incrementar extremadamente si la combustión del carbón en el pre-calcinador es incompleta. En éste caso, carbono residual del calcinador penetrará en el fondo de extremo del horno, donde creará condiciones de reducción en la carga del horno, con el resultado de una "evaporación" muy incrementada del azufre. Por consiguiente, un aumento de la combustión en el pre-calcinador es un medio para reducir la emisión del SO₂ de un sistema provisto de by-pass.

3.1.7.1 Eliminación del agua en intercambiadores de calor internos (en el interior del horno):

3.1.7.1.1 Cadenas en el interior del horno: Tanto los hornos rotatorios para vía húmeda como para vía seca están dotados de diferentes sistemas de cadenas. El único objetivo de los sistemas de cadenas de los hornos de vía seca es el intercambio término entre gases y material seco. En el horno rotatorio para vía húmeda añaden a la evaporación del agua, el transporte del material y evitar que se formen anillos.

En sí, las cadenas no son dispositivos de eliminación de agua, pero debido a aspectos de tipo mecánico que estos dispositivos cumplen, en simultáneo con la evaporación de agua, hace que se les incluya en el grupo de los dispositivos de eliminación de agua.

Hay dos sistemas de cadenas diferentes:

(a).- Cadenas en cortina (figura 7.a).

(b).- Cadenas en guirnalda (figura 7.b).

El sistema empleado ha de estar de acuerdo con las características de la papilla o pasta. Si es muy viscosa el sistema ha de ser sencillo para evitar aglomeraciones y atascos y si es friable son admisibles sistemas más complejos.

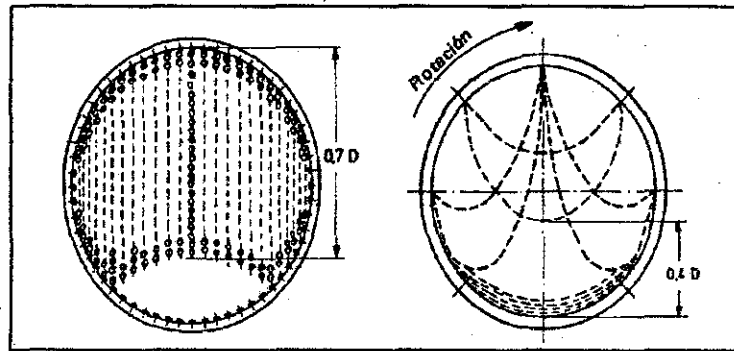
En las cadenas en cortina, éstas penden por uno de sus extremos. Su longitud ha de tener, aproximadamente, el 0.7 del diámetro libre del horno. La distancia entre los puntos de suspensión de dos cadenas, contada según la circunferencia, es del orden de 30 cm. Para cortinas poco densas se elige la distancia de 40-45 cm. La distancia entre cada dos cortinas es del mismo orden de magnitud. Los anillos de suspensión generan superficies perpendiculares al eje del horno. La fijación de las cadenas en cortina puede realizarse de modo que describan una hélice (La superficie que forman sería un helicoides).

Las cadenas en guirnalda se han de colgar a una distancia de incluso 0.4 D (diámetro libre). Las cadenas en guirnalda penden colgadas por ambos extremos, cuyos puntos de fijación describen una hélice, que forma con el eje longitudinal del horno un ángulo de 45-60 °. En hornos de hasta

unos 4 m de diámetro ese ángulo ha de tener 45-50° y para hornos con diámetro superior a 4 m, 60°.

FIGURA 7
SISTEMAS DE CADENAS

a) Cadenas con cortinas b) Cadenas con guirnaldas

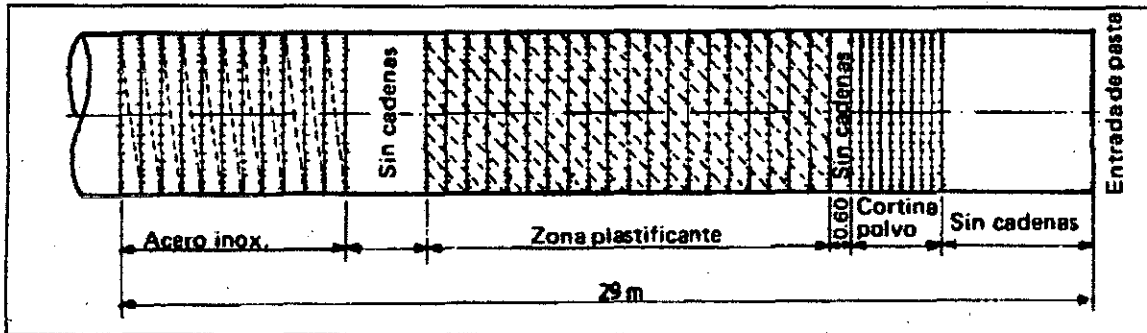


La zona de cadenas está dividida en grupos separados por una o dos zonas sin cadenas, para los siguientes fines:

- 1.- Igualar la temperatura de los gases del horno.
- 2.- Servir de área estabilizadora del transporte del material.
- 3.- Depositar el polvo del horno.
- 4.- Facilitar la instalación de termoelementos.

En los hornos rotatorios para vía húmeda o semi húmeda se aplica una combinación de cadenas en cortina y en guirnalda (figura 8).

FIGURA 8
ZONA DE CADENAS DE UN HORNO DE VIA HUMEDA. Diámetro=4.5 m



Las cadenas en guirnalda transportan mejor el material en el horno que las cadenas que penden libremente, lo cual es de suma importancia en los hornos para vía húmeda. Sin embargo, el montaje de las cadenas que penden libremente es más sencillo y rápido que el de las cadenas en guirnalda.

La caída de presión existente, por cada metro de longitud de la zona de cadenas, es la siguiente:

- (a).- Cadenas en cortina: 1-2 mm de columna de agua
- (b).- Cadenas en guirnalda: 2-3 mm de columna de agua

La longitud de la zona de cadenas (en hornos para vía húmeda) se puede calcular mediante esta fórmula empírica:

$$L_K = 0.07L \left(0.1 \frac{L}{D} - 1 \right) \quad (3.1)$$

En la cual:

L = Longitud del horno rotatorio, en m

D = Diámetro medio del horno, en m

LK = Longitud de la zona de cadenas, en m

En todos los casos se han de tener presentes los siguientes criterios:

1. Para $L/D > 33$, la zona de cadenas ha de ser el 18-20 % de la longitud del horno.
2. Para $L/D = 33-25$, basta con que la zona de cadenas sea del 10 % de la longitud del horno.
3. Para $L/D < 25$, el horno no debe llevar cadenas, dada la alta temperatura de los gases.

Además, se ha de tener en cuenta que a la salida de la zona de cadenas, la pasta debe contener un 8-10 % de agua, porque con contenidos más bajos se produce una cantidad excesiva de polvo por destrucción de los gránulos formados.

Hay que elegir las cadenas de tal modo que por m^3 del volumen de la zona de cadenas, correspondan superficies de cadena de:

- (a).- En hornos para vía húmeda: $6-8.5 \text{ m}^2 / \text{m}^3$
- (b).- En hornos para vía seca: $8.5-12 \text{ m}^2 / \text{m}^3$

En éste caso, el volumen de horno se refiere al volumen de la zona de cadenas. Los hornos modernos con sistema de cadenas dispuestas del modo indicado tienen los siguientes consumos de calor:

- (a).- Hornos para vía húmeda: 5350 - 5977 kJ/kg de Clinker
- (b).- Hornos para vía seca: 4096 -4723 kJ/kg de Clinker.

En comparación con los hornos que disponen de intercambiadores menos eficaces, un sistema de cadenas correctamente dispuesto puede reportar una economía de combustible del orden de 1254 kJ/kg de Clinker.

Es una regla práctica, que 1500 m de cadena instalada rebajan la temperatura de los gases a la salida en 110°C.

Las cadenas en guirnalda ofrecen una acción 1.5 veces superior a las cadenas en cortina para la misma densidad de instalación de ambas, es decir, que las guirnalda de cadenas evaporan un 50 % más de agua por unidad de tiempo que las instaladas en cortina.

3.1.7.1.2 Dispositivos internos en hornos para vía húmeda: Prescindiendo de las cadenas, los dispositivos internos de los hornos para vía húmeda se clasifican en pre-calentadores de pasta y secadores de pasta. Para este proyecto se describirá a continuación los pre-calentadores de pasta.

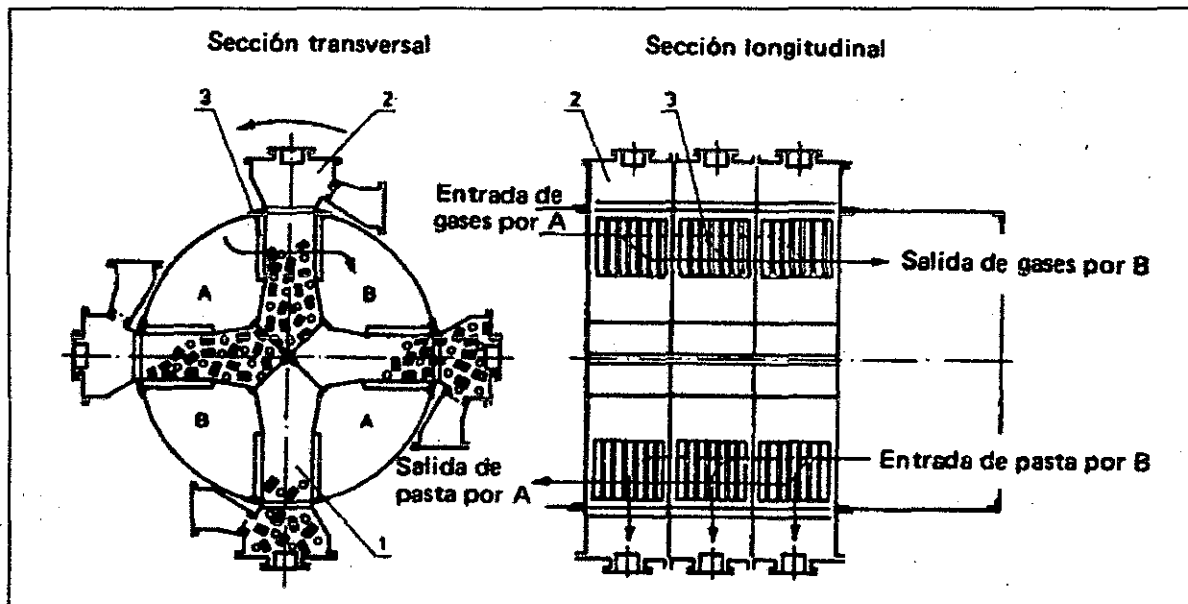
3.1.7.1.2.1 Pre-calentadores de pastas: Los pre-calentadores de pasta se instalan en la zona anterior a la de las cadenas. Uno de los pre-calentadores más utilizado es el fabricado por F.L. Smidth, representado en la figura 31. A éste dispositivo también se le denomina calcinador F. L. Smidth. Consiste en una serie de cajas situadas en la zona de secado y colocadas en la pared del propio horno, con elementos cambiadores de calor dispuestos en su interior.

Las crucetas de acero (1) dividen la sección del horno en cuatro cámaras. A cada dos de éstas, diametralmente opuestas, se les designa por A y B. Las cámaras A, vistas desde la entrada de pasta, están obturadas por paredes de acero, mientras que las cámaras B están cerradas por el lado opuesto. La pasta que entra en el horno fluye a través de la cámara B, al espacio interior de la cruceta en el que se

hallan los cuerpos dispersores de la pasta. Durante el giro del horno se eleva la pasta tomada por el recipiente (2) dispuesto junto a la chapa del horno.

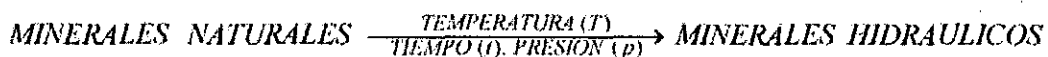
Después de media vuelta del horno fluye la pasta en las cámaras, de las cuales vuelve a salir al horno en la zona de las cadenas. Los gases calientes del horno entran en el pre-calentador por las cámaras A y por el emparrillado (3) en las cámaras B de las cuales, después de atravesar una sección de corta longitud del horno, lo abandonan ya enfriados. Los gases barren el pre-calentador a contracorriente y calientan de modo instantáneo la pasta. Además, la pasta también se calienta por contacto con las paredes del calcinador y con los cuerpos dispersores. El calcinador F. L. Smidth lleva la pasta desde 10-15 °C hasta 55-65°C. Simultáneamente éste pre-calentador de pasta sirve como filtro del polvo, pues el del horno se deposita sobre la pasta y permanece con ella en aquél.

FIGURA 9
ESQUEMA DE UN CALCINADOR F. L. SMIDTH



3.1.8 Proceso de clinkerización:

El proceso de obtención de Clínter del cemento Portland comprende una serie de reacciones mediante las cuales los minerales naturales contenidos en la mezcla cruda se transforman en una mezcla de minerales sintéticos que tienen las propiedades hidráulicas deseadas, es decir:



El proceso de cocción de Clínter tiene analogías con la transformación de rocas sedimentarias e ígneas en rocas metamórficas, sin embargo con la excepción de que tanto el espacio de tiempo como la presión de reacción son mucho menores. Para compensar de esto, la temperatura requerida de reacción es más alta.

Fundamentalmente, el proceso de cocción de Clínter consiste de dos fases principales, es decir la desintegración de los componentes de la mezcla cruda original y la formación de nuevos compuestos.

Para fabricar cemento a partir de la mezcla cruda es preciso calentar ésta hasta una temperatura de ~1450°C, alcanzando así la sinterización o clinkerización. El proceso de cocción exige una atmósfera oxidante dentro del horno, ya que, en caso contrario, se obtiene un Clínter de color pardo (en vez del color normal de gris verdoso) y el cemento resultante presenta un fraguado más rápido y resistencias más bajas. Durante el calentamiento de la harina cruda, y sobre todo a la temperatura de cocción (clinkerización o sinterización), ya tienen lugar importantes procesos fisicoquímicos, como por ejemplo la deshidratación de los minerales arcillosos, la descomposición de los carbonatos (descarbonatación o expulsión del CO₂, normalmente llamada calcinación), reacciones en estado sólido y reacciones con participación de una fase líquida así como cristalización. Estos procesos se ven afectados no sólo por factores químicos en la harina cruda (como por ejemplo su composición química), sino también

por factores mineralógicos (su composición mineralógica), y por factores físicos (finura o tamaño de partículas de la harina cruda), homogeneidad y otros factores. El transcurso completo de esas reacciones endotérmicas juega un papel decisivo en la calidad del cemento resultante.

La secuencia de reacciones en la cocción del crudo no está todavía clara debido a la amplia variación de las características físico-químicas de las materias primas, condiciones de operación del horno y a la dificultad práctica de tomar muestras calientes de las diferentes partes del horno para su estudio. La secuencia de reacciones es casi idéntica en los procesos de vía seca, semi seca, semi húmeda y húmeda. Uno de los primeros estudios demostró que en el proceso de cocción, la deshidratación, la disociación y descarbonatación de los diferentes componentes de las materias primas, así como la formación de nuevas fases tiene lugar de forma simultánea.

3.1.9 Molienda del producto calcinado:

La fabricación del cemento, requiere del Clínter fabricado en los hornos además de yeso que permite regular el fraguado de la mezcla de cemento con agua y adiciones como Puzolana y cenizas de centrales térmicas, que dan propiedades hidráulicas especiales al producto final. Todos estos materiales son dosificados y posteriormente mezclados y molidos en grandes molinos de bolas de dos cámaras y diafragma intermedio, que permiten reducir el tamaño de los componentes hasta polvo fino.

El circuito de molienda puede tener separadores y filtros de mangas, que permiten separar el producto de la corriente del aire de ventilación.

La calidad y propiedades del cemento, quedan determinadas por la participación de cada uno de estos componentes, así como de la fineza final del producto.

3.1.10 Adición de la puzolana:

El estado actual de la investigación del cemento elaborado con ceniza de la cáscara de arroz, trata sobre los efectos de la temperatura de quemado y los métodos de enfriamiento para la reacción del cemento con ceniza de cáscara de arroz. La temperatura de quemado varía de 200 a 1000°C. La reactividad también depende de los métodos de enfriamiento. El cemento obtenido a partir de las cenizas de cáscara de arroz se obtiene directamente del horno y se enfría bruscamente a 5°C en comparación con la temperatura ambiente, es más fácil triturar y dar una alta resistencia inicial a la compresión en los morteros de cemento de cenizas de cáscara de arroz.

Se están llevando a cabo muchas investigaciones, y es reconocido ampliamente el potencial de la ceniza de cáscara de arroz para producir un material cementante. Se están considerando los métodos de producción de ceniza de cáscara de arroz que no requieren maquinas o equipos sofisticados los más adecuados a implementar en los países productores de arroz. Sin embargo, se pueden esperar que el uso de maquinaria en los procesos de producción aseguran productos de alta calidad y uniformidad. Los investigadores han sugerido varios enfoques a la producción de material cementante a partir de las cenizas de la cáscara de arroz.

Estos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1. Mezclando o intermoliendo la ceniza de la cáscara de arroz con cemento Portland o cal. En ésta clasificación, la ceniza de la cáscara de arroz se puede obtener como sigue:
 - a) Ceniza de la cáscara de arroz obtenida mediante un quemado controlado.
 - b) Ceniza de la cáscara de arroz obtenida mediante un quemado en campo abierto.
 - c) Cenizas de calentadores.

El método para producir cementos hidráulicos a partir de la ceniza de la cáscara de arroz será mediante un quemado controlado.

1.a.- Ceniza de la cáscara de arroz obtenida mediante un quemado controlado:

Un quemado controlado es el proceso de quemar la cáscara de arroz a una temperatura constante durante un tiempo específico, al quemar la cáscara de arroz en condiciones diferentes cambiaba las características de la ceniza. La temperatura y tiempo de quemado se controlan de tal manera que no se rompa la estructura celular de la cáscara de arroz, y así la sílice producida estará en estado amorfo, el cual se considera reactivo.

➤ **Método de producción:** la cáscara de arroz fue quemada en un incinerador bajo condiciones controladas. La temperatura del proceso de quemado varió desde 400°C hasta 600°C. La ceniza de la cáscara de arroz obtenida así puede mezclarse con cal y/o cemento Portland para producir un material cementante a través de:

- I. Intermoliendo la ceniza de la cáscara de arroz con cal y/o cemento Portland en cantidades adecuadas en un molino de bolas. El tiempo de molido varía dependiendo la fineza requerida.
- II. Mezclando la ceniza de la cáscara de arroz bien molida, con cal y/o cemento Portland en cantidades adecuadas.

3.1.11 Almacenamiento del cemento hidráulico:

El cemento es una sustancia particularmente sensible a la acción del agua y de la humedad, por lo tanto para salvaguardar sus propiedades, se deben tener algunas precauciones muy importantes, entre otras: Inmediatamente después de que el cemento se reciba en el área de las obras si es cemento a granel, deberá almacenarse en depósitos secos, diseñados a prueba de agua, adecuadamente ventilados y con instalaciones apropiadas para evitar la absorción de humedad. Si es cemento en sacos, deberá

almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa alguna de cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias.

3.2.- CEMENTO HIDRAULICO:

Las materias primas esenciales: calizas, margas y arcillas que son extraídas de canteras, en general próximas a la planta, deben proporcionar los elementos esenciales en el proceso de fabricación de cemento: calcio sílice, aluminio y hierro. En la región Norte del Perú por encontrarse cerca del litoral se encuentra una caliza con un porcentaje de humedad de 20%, lo que hace que el proceso para la obtención de obtención del cemento hidráulico se opte por el proceso de vía semi-húmeda.

Se puede clasificar según el porcentaje de humedad la calidad de caliza o arcilla.

- Estado seco: 6 - 10% de agua
- Estado húmedo: 35 – 50% de agua

En la preparación de la materia prima se tomaría en cuenta el proceso por vía húmeda. Se tendría que mezclar tanto la caliza como la arcilla, la humedad del crudo impone técnicas en la molienda y es por eso que se requiere un secado previo. La molienda sería en sistema cerrado, puesto que retornaría la molienda más gruesa al sistema, puesto que se ya se está llevando este material a un molino para luego ser llevado aún filtro prensa. Para luego ser acondicionado agregándole agua, que luego pasa por sistema de secadores para luego pasar al horno de calcinación, para que de una vez esté listo el Clínter se le agregue las cenizas de la cáscara de arroz junto con el yeso y después pasar al molino y después envasarlo para su distribución.

CAPITULO IV
CALCULOS DE INGENIERIA QUIMICA

4.1.- DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO:

Esta descripción se hace referencia al diagrama de equipos del proceso de obtención del cemento hidráulico.

1. Se realiza la excavación de las materias primas, que en éste caso son la caliza y la arcilla.
2. Luego son llevadas para ser trituradas, en una chancadora primaria llevando a una reducción de 25 cm.
3. Ambas materias primas pasan por un mezclador, para luego ser llevadas a silos de almacenamiento,
4. En la cual pasa a una molienda secundaria, en éste caso por un molino de bolas para reducir hasta 40 μm , previamente se va a dispersar agua para evitar que las partículas se dispersen en el aire, la cantidad de agua que se adiciona es del 10% de la cantidad que ingresa al molino.
5. Luego es transportada por bombas hasta un filtro prensa, se usa un filtro prensa porque en menores cantidades se encuentra los limos, MgO , etc, es por eso que utilizamos un filtro prensa, para luego dar un tratamiento a las aguas residuales que salen del filtro prensa.
6. Mi harina cruda que sale del filtro prensa contiene un 40% de humedad de lo que ingreso al filtro prensa y es transportado por una bomba en la cual es llevado a un silo de almacenamiento, para luego ser llevado a un proceso de secado,
7. En la cual es un pre – horno con un sistema de 4 ciclones, para eliminar por completo el agua libre que se encuentra, y el agua que se encuentra como un componente más y el dióxido de carbono y el resto de compuestos que no forman parte de la composición del cemento, esto ocurre desde los 100°C hasta los 800°C.
8. Luego pasa al horno rotatorio que se encuentra desde 900°C hasta los 1200°C dando lugar a los compuestos de formación, utilizando combustible para iniciar la combustión, inmediatamente
9. Pasa por sistema de enfriado que es por debajo de la temperatura ambiente, para enfriar inmediatamente el Clinker, éste sistema suele arrojar partículas en la cual se utiliza un filtro para así eliminar el polvo fino.

10. Esta harina pasa a un silo de almacenamiento.
11. Luego se procede a quemar la cáscara de arroz en un horno de ladrillo a una temperatura de hasta 500°C, se prefiere ésta temperatura como máximo, para evitar que el dióxido de silicio pierda sus propiedades y tener menos cantidad de ceniza de carbono, procedente de la composición de la cáscara de arroz,
12. Luego estas cenizas se enfrían inmediatamente hasta una temperatura menor que la temperatura ambiente de preferencia de 25°C,
13. Para luego ser molido junto con el cemento en un molino de bolas y con un poco de yeso, luego pasa a un silo de almacenamiento para ser envasado y vendido.

4.2.- MECANISMOS DE REACCION:

La durabilidad es la clave del éxito en cualquier tipo de obras civiles. Las estructuras que se fabrican no sólo deben ser resistentes a las solicitaciones inmediatas, sino que deben permanecer estables y resistentes durante muchos años, a despecho de los agentes agresivos: la intemperie, los cambios climáticos, la acción de las aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, etc.

Esta cualidad que tiene la adición de puzolana al cemento portland, pues se ha encontrado que esta adición mineral, efectivamente neutraliza la reactividad álcali - sílice. A diferencia de otras propiedades que confiere la puzolana al cemento, esta no tiene una explicación clara y fácil de entender. Algunos investigadores han emitido sus teorías, a cual más intuitiva y aquí vamos a tratar de explicar una de ellas en la forma más simple posible.

Las reacciones álcali – agregado pueden ser de tres tipos:

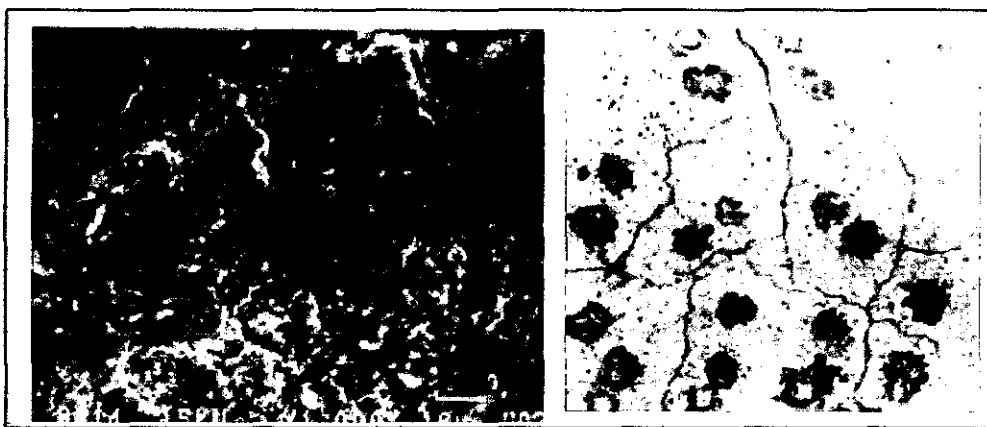
- a. Reacción Álcali – Sílice.- (o álcali-agregado).- Esta puede ocurrir entre los iones álcali del cemento (o de fuentes extrañas al hormigón) y las fases amorfas y micro cristalinas de la sílice que pueden estar presentes en los agregados. Las rocas que podrían provocar esta reacción contienen ópalo, calcedonia o pueden ser rocas volcánicas vítreas riolíticas.

- b. Reacción Álcali – Carbonatos. - Esta se produce entre los álcalis y piedras calizas dolomíticas. Son susceptibles de reaccionar las piedras calizas arcillosas dolomíticas y las calizas magnesianas.
- c. Reacción Álcali – Silicatos. - Se produce con algunas rocas como el gres esquistoso y filitas que contienen minerales silíceos, dolomías mestables y posiblemente calcita microcristalina

El problema se manifiesta en presencia de agua, es decir en estructuras que están permanentemente húmedas como las obras hidráulicas. La mecánica es extremadamente compleja y los químicos han elaborado más de una teoría para explicarla, a cual más difícil de entender para los legos en la materia. Tal parece que en el interior del hormigón se presentan una serie de presiones osmóticas que rompen la interface pasta – granulado y fracturan las mismas piedras.

En la superficie aparecen una serie de fisuras orientadas aleatoriamente en forma de mapa y el deterioro avanza rápidamente.

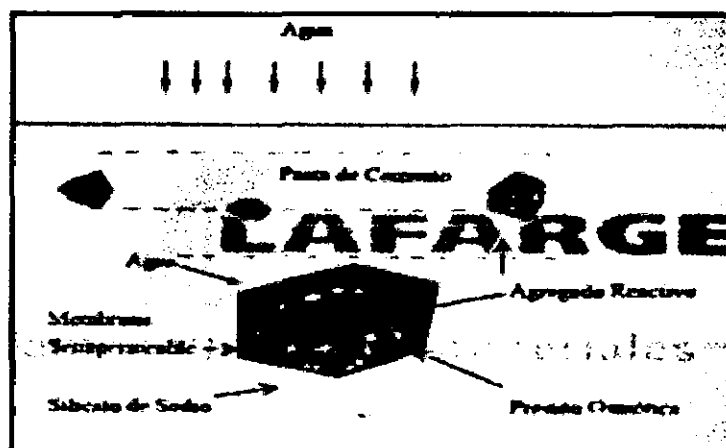
FIGURA 10
FISURAS ORIENTADAS ALEATORIAMENTE AL DETERIORO



El proceso de deterioro del hormigón por la reactividad álcali – sílice se debe a la formación de geles sílicos – alcalinos, por disolución de la sílice reactiva en un medio de alcalinidad elevada (pH superior a 12) como el que proporciona la pasta de cemento. La presencia de agua es

imprescindible para el desarrollo de los geles y estos, por inhibición e hinchamiento aumentan de volumen y la presión ejercida puede llegar a causar efectos disruptivos.

FIGURA 11
PROCESO DE OSMOSIS



Membranas semipermeables y proceso osmótico según D.J.E. VERONELLI

La teoría de la membrana semipermeable explica con sencillez el fenómeno. Para que una membrana sea semipermeable y pueda dar lugar a células en las que se engendren presiones osmóticas, debe tener una composición sílico – cálcico – alcalina y sólo puede desarrollarse dentro de unos límites determinados y estrechos de esa composición.

Si hay un exceso de sílice alta y rápidamente reactiva, o un exceso de cal o un defecto del álcali en la composición de la membrana, se conseguirá que esta sea impermeable y por tanto, inepta para la formación de membranas y células osmóticas sin que se produzcan efectos expansivos. Esto quiere decir que para que haya reacción expansiva no basta con que el agregado tenga sílice reactiva y que el cemento aporte con un elevado porcentaje de álcalis, sino que además es preciso que se den unas proporciones determinadas entre ambos elementos. De aquí que se puede llegar a una combinación denominada “**concentración PESSIMUM**” que es la capaz de generar las máximas expansiones.

Hemos dicho que el fenómeno sólo se presenta en presencia de agua, también hace falta que esta se encuentre permanentemente o el tiempo suficiente para que pueda penetrar a través de la membrana – endósmosis – creando la presión osmótica en la célula.

4.3.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCION DE CEMENTO HIDRAULICO:

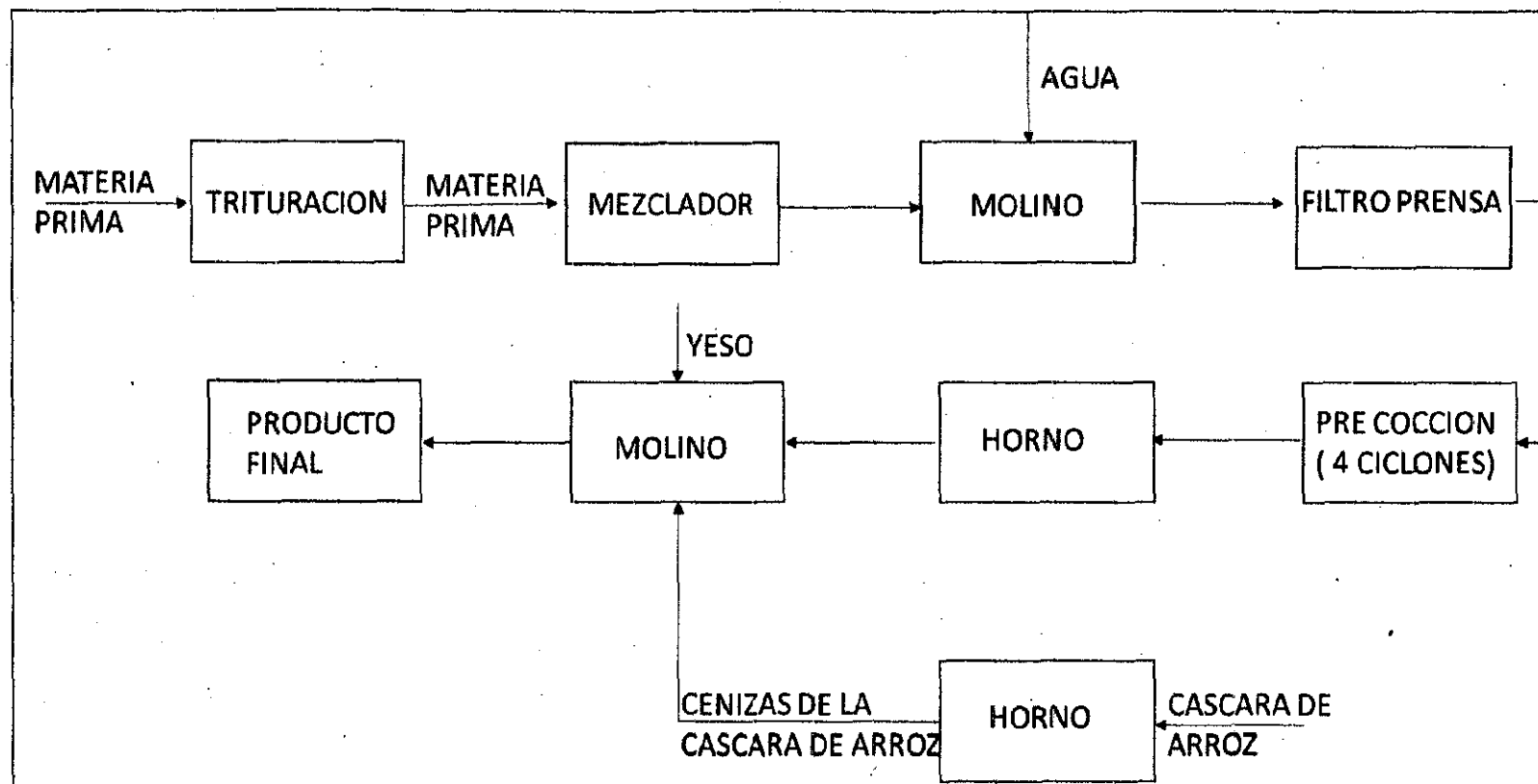


DIAGRAMA 2
PROCESO DE OBTENCION DEL CEMENTO HIDRAULICO

4.5- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE OBTENCION DE CEMENTO HIDRAULICO:

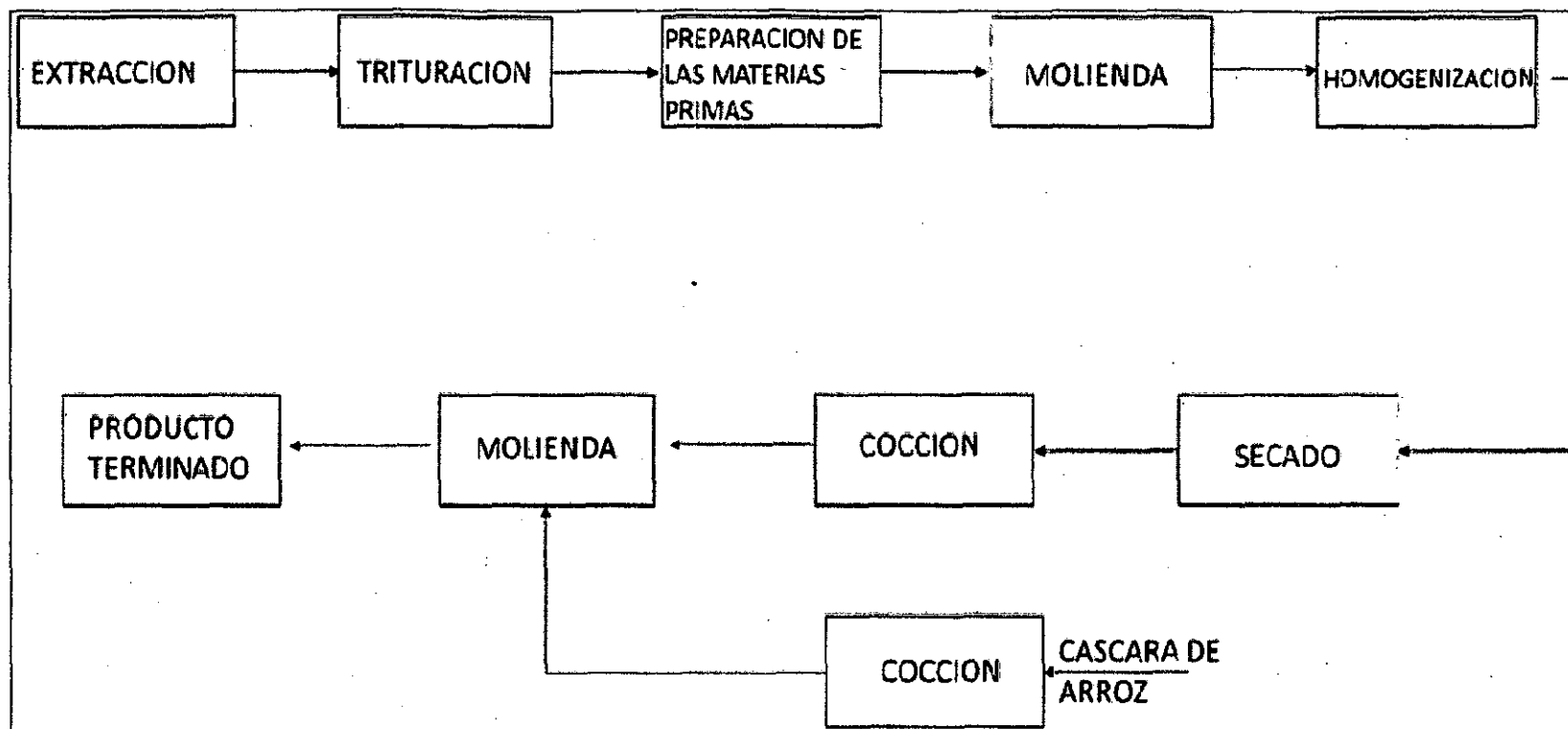


DIAGRAMA 4
PROCESO DE OBTENCION DEL CEMENTO HIDRAULICO

4.6.- BALANCE DE MATERIA:

Tomamos como base de cálculo una conversión del 80%, un rendimiento del 80%, y una eficiencia del 80%

4.6.1.- Balance de materia de la cáscara de arroz:

- Aire en exceso: 87.16% exceso de aire²
- Cantidad de combustible: 115.86 Kg/h³

Como mi capacidad de la planta es de 23297 Tn/año, lo convertimos a Kg/h

$$23297 \frac{Tn}{año} * \frac{907Kg}{1Tn} * \frac{1año}{300días} * \frac{1día}{22horas} = 3202 \frac{Kg}{hora}$$

NOTA: La adición de la ceniza de la cáscara de arroz es de 30% en peso del cemento portland.

- ✓ 960.6 Kg de ceniza de la cáscara de arroz/ hora
- ✓ 2241.4 Kg de cemento Portland/ hora

² Tesis "Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánico en cemento y concreto"

³ Tesis "Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánico en cemento y concreto"

Balance global: a 500°C:

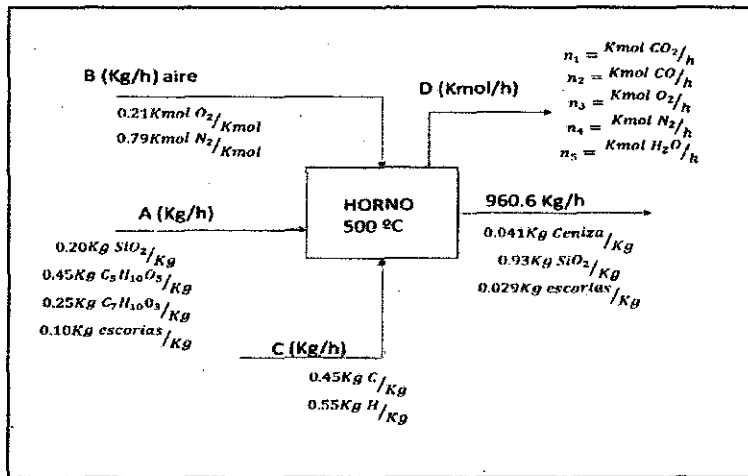


DIAGRAMA 5
HORNO A 500 °C PARA LA CÁSCARA DE ARROZ (Diagrama N°15)

Balance general de SiO₂:

$$0.93 * 960.6 = 0.80 * 0.20 * A$$

$$A = 5583.50 \text{ Kg/h de cáscara de arroz}$$

Conversión a kilomoles:

Cáscara de arroz:

$$0.20 * 5583.5 \text{ KgSiO}_2 * \frac{1 \text{ KmolSiO}_2}{60 \text{ KgSiO}_2} = 18.61 \text{ KmolSiO}_2$$

$$0.45 * 5583.5 \text{ KgC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 * \frac{1 \text{ KmolC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5}{150 \text{ KgC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5} = 16.75 \text{ KmolC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$$

$$0.25 * 5583.5 \text{ KgC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 * \frac{1 \text{ kmolC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3}{142 \text{ KgC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3} = 9.83 \text{ KmolC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3$$

$$0.10 * 5583.5 \text{ Kg escorias} = 558.35 \text{ Kg escorias}$$

Combustible:

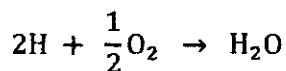
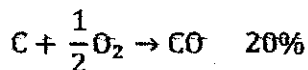
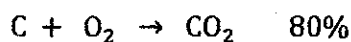
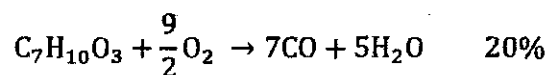
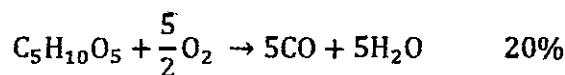
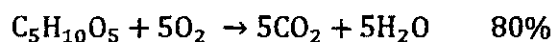
$$0.45 * 115.86 \text{ Kg C} * \frac{1 \text{ Kmol C}}{12 \text{ KgC}} = 4.34 \text{ KmolC}$$

$$0.55 * 115.86 \text{ Kg H} * \frac{1 \text{ KmolH}}{1 \text{ KgH}} = 63.72 \text{ KmolH}$$

Producto final:

$$0.93 * 960.6 \text{ Kg SiO}_2 * \frac{1 \text{ Kmol SiO}_2}{60 \text{ Kg SiO}_2} = 14.89 \text{ Kmol SiO}_2$$

Balance molecular del aire:



$$\begin{aligned} (n_{\text{O}_2})_{\text{teorico}} = & \frac{5 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5} * 16.75 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 + \frac{8 \text{ Kmol O}_2}{1 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3} \\ & * 9.83 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 + \frac{1 \text{ Kmol O}_2}{1 \text{ Kmol C}} * 4.34 \text{ Kmol C} + \frac{0.5 \text{ Kmol O}_2}{2 \text{ Kmol H}} * 63.72 \text{ Kmol H} \end{aligned}$$

$$(n_{\text{O}_2})_{\text{teorico}} = 182.66 \text{ Kmol O}_2$$

$$(n_{\text{aire}})_{\text{teorico}} = 182.66 \text{ kmol O}_2 * \frac{1 \text{ Kmol aire}}{0.21 \text{ Kmol O}_2} = 869.81 \text{ kmol aire teorico}$$

$$\% \text{aire en exceso} = \frac{(n_{\text{aire}})_0 - (n_{\text{aire}})_{\text{teorico}}}{(n_{\text{aire}})_{\text{teorico}}} \quad (4.1)$$

$$1 + 0.8716 = \frac{(n_{\text{aire}})_0}{869.81}$$

$$(n_{\text{aire}})_0 = 1627.94 \text{ Kmol aire}$$

$$341.87 \text{ Kmol O}_2$$

$$1286.07 \text{ Kmol N}_2$$

Balance molecular de C₅H₁₀O₅: E = C

$$C = 16.75 \text{ kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5_{\text{cons}}$$

Balance molecular de C₇H₁₀O₃: E = C

$$C = 9.83 \text{ kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3_{\text{cons}}$$

Balance molecular de C: E = C

$$C = 4.34 \text{ Kmol C}_{\text{cons}}$$

Balance molecular de H: E = C

$$C = 63.72 \text{ Kmol H}_{\text{cons}}$$

Balance molecular de CO₂: G = S

$$\begin{aligned} n_1 = & \frac{5 \text{ Kmol CO}_2 \text{ generado}}{1 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido}} * 16.75 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido} \\ & + \frac{7 \text{ Kmol CO}_2 \text{ generado}}{1 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido}} * 9.83 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido} \\ & + \frac{1 \text{ Kmol CO}_2 \text{ generado}}{1 \text{ Kmol C consumido}} * 4.34 \text{ Kmol C consumido} \end{aligned}$$

$$n_1 = 156.9 \text{ Kmol CO}_2 * 0.80$$

$$n_1 = 125.52 \text{ Kmol CO}_2$$

Balance molecular de CO: $G = S$

$$n_2 = \left(\frac{5 \text{ Kmol CO generado}}{1 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido}} * 16.75 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido} \right. \\ \left. + \frac{7 \text{ Kmol CO generado}}{1 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido}} * 9.83 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido} \right. \\ \left. + \frac{1 \text{ Kmol CO generado}}{1 \text{ Kmol C consumido}} * 4.34 \text{ Kmol C consumido} \right) * 0.2$$

$$n_2 = 31.38 \text{ Kmol CO}$$

Balance molecular del H₂O: $G = S$

$$n_5 = \left(\frac{5 \text{ Kmol H}_2\text{O generado}}{1 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido}} * 16.75 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido} \right) * 0.80 \\ + \left(\frac{5 \text{ Kmol H}_2\text{O generado}}{1 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido}} * 16.75 \text{ Kmol C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido} \right) * 0.20 \\ + \left(\frac{5 \text{ Kmol H}_2\text{O generado}}{1 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido}} * 9.83 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido} \right) * 0.80 \\ + \left(\frac{5 \text{ Kmol H}_2\text{O generado}}{1 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido}} * 9.83 \text{ Kmol C}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido} \right) + 0.20 \\ + \frac{1 \text{ Kmol H}_2\text{O generado}}{2 \text{ Kmol H consumido}} * 63.72 \text{ Kmol H consumido}$$

$$n_5 = 164.76 \text{ Kmol H}_2\text{O}$$

Balance molecular de O₂: E = S + C

341.87KmolO₂

$$\begin{aligned}
 &= n_3 + \left(\frac{5\text{KmolO}_2 \text{ consumido}}{1\text{KmolC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido}} * 16.75\text{KmolC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido} \right) \\
 &* 0.80 + \left(\frac{2.5\text{KmolO}_2 \text{ consumido}}{1\text{KmolC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido}} * 16.75\text{KmolC}_5\text{H}_{10}\text{O}_5 \text{ consumido} \right) \\
 &* 0.20 + \left(\frac{8\text{KmolO}_2 \text{ consumido}}{1\text{KmolC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido}} * 9.83\text{KmolC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido} \right) \\
 &* 0.80 + \left(\frac{4.5\text{KmolO}_2 \text{ consumido}}{1\text{KmolC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido}} * 9.83\text{KmolC}_7\text{H}_{10}\text{O}_3 \text{ consumido} \right) \\
 &* 0.20 + \left(\frac{1\text{KmolO}_2 \text{ consumido}}{1\text{KmolC} \text{ consumido}} * 4.34\text{KmolC} \text{ consumido} \right) * 0.80 \\
 &+ \left(\frac{0.5\text{KmolO}_2 \text{ consumido}}{1\text{KmolC} \text{ consumido}} * 4.34\text{KmolC} \text{ consumido} \right) * 0.20 \\
 &+ \frac{0.5\text{KmolO}_2 \text{ consumido}}{2\text{KmolH} \text{ consumido}} 63.72\text{KmolH} \text{ consumido}
 \end{aligned}$$

$$n_3 = 174.9 \text{ Kmol O}_2$$

$$n_4 = 1286.07 \text{ Kmol N}_2$$

4.6.2.- Balance de materia del cemento Portland:

- Arcilla – arenosa: (en peso)

+ SiO₂ → 54.2%

+ Arcilla → $\left\{ \begin{array}{l} \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 71.5\% \\ \text{Impurezas} \rightarrow 28.5\% \end{array} \right\} 22.7\%$

+ Limo → $\left\{ \begin{array}{l} \text{H}_2\text{O} \rightarrow 20\% \\ \text{SiO}_2 \rightarrow 80\% \end{array} \right\} 23.1\%$

- Caliza: (en peso)

+ CaCO₃ → 70%

+ SiO₂ → 14%

- + Al₂O₃ → 4%
- + Fe₂O₃ → 6%
- + Impurezas → 6%

Se tiene en cuenta que de toda la mezcla para hacer cemento Portland se toma un 40% de arcilla y un 60% de caliza. Se toma una base de calculo de 1253.67 Kg de arcilla (A) y 1880.07 Kg de caliza (B)

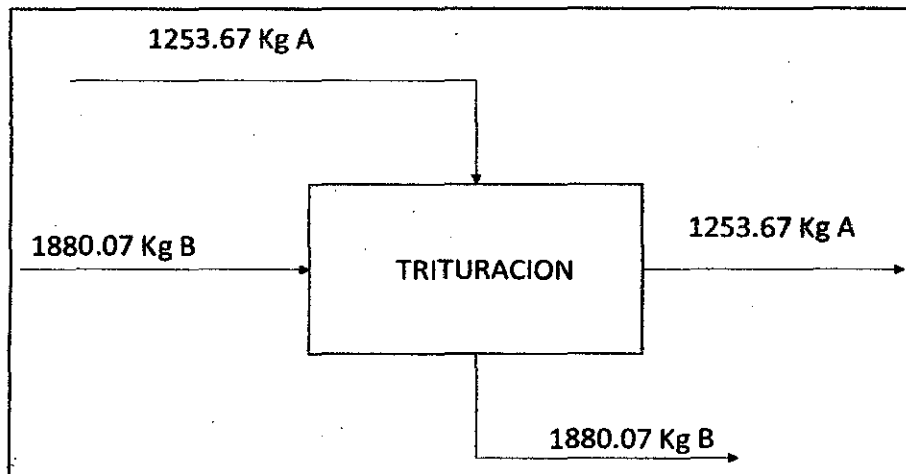


DIAGRAMA 6
TRITURACION DE LA MATERIA PRIMA (Diagrama N° 15)

Conversión a kilomoles:

Caliza:

$$0.70 * 1880.07 \text{KgCaCO}_3 * \frac{1 \text{KmolCaCO}_3}{100 \text{KgCaCO}_3} = 13.16 \text{KmolCaCO}_3$$

$$0.14 * 1880.07 \text{KgSiO}_2 * \frac{1 \text{kmolSiO}_2}{60 \text{KgSiO}_2} = 4.39 \text{KmolSiO}_2$$

$$0.04 * 1880.07 \text{KgAl}_2\text{O}_3 * \frac{1 \text{KmolAl}_2\text{O}_3}{102 \text{KgAl}_2\text{O}_3} = 0.74 \text{KmolAl}_2\text{O}_3$$

$$0.06 * 1880.07 \text{KgFe}_2\text{O}_3 * \frac{1 \text{KmolFe}_2\text{O}_3}{160 \text{KgFe}_2\text{O}_3} = 0.71 \text{KmolFe}_2\text{O}_3$$

$$0.06 \text{Kg} * 1880.07 \text{Kg impurezas} = 112.8 \text{Kg impurezas}$$

Arcilla:

$$0.542 * 1253.67 \text{kgSiO}_2 * \frac{1 \text{kmolSiO}_2}{60 \text{KgSiO}_2} = 11.32 \text{KmolSiO}_2$$

$$0.71 * 0.227 * 1253.67 \text{KgAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} * \frac{1 \text{kmolAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{258 \text{KgAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \\ = 0.78 \text{ kmolAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$0.285 * 0.227 * 1253.67 \text{kg impurezas} = 81.11 \text{Kg impurezas}$$

$$0.20 * 0.231 * 1253.67 \text{KgH}_2\text{O} * \frac{1 \text{kmolH}_2\text{O}}{18 \text{KgH}_2\text{O}} = 3.22 \text{kmolH}_2\text{O}$$

$$0.80 * 0.231 * 1253.67 \text{KgSiO}_2 * \frac{1 \text{KmolSiO}_2}{60 \text{KgSiO}_2} = 3.86 \text{KmolSiO}_2$$

DIAGRAMA 7
MEZCLADOR DE LAS MATERIAS PRIMAS (Diagrama N° 15)

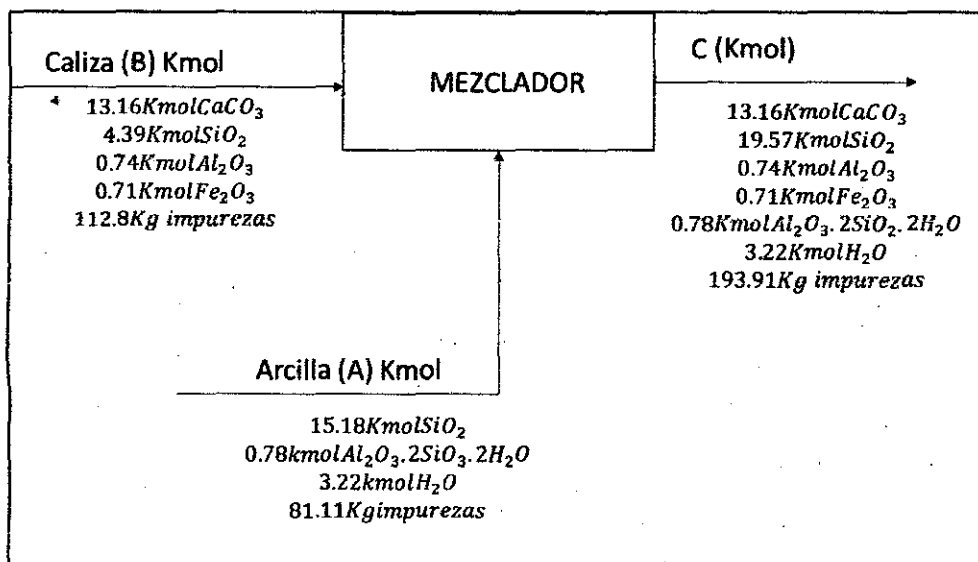
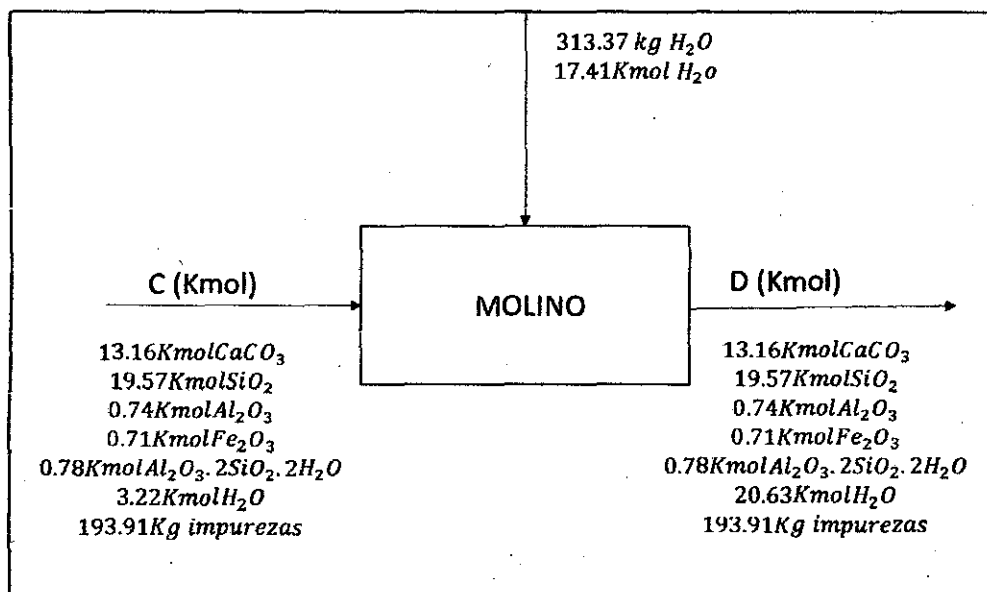
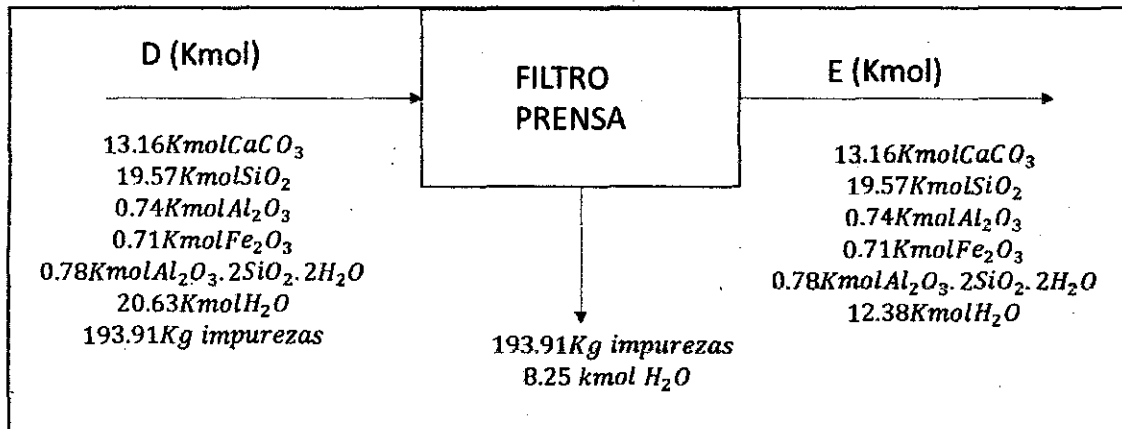


DIAGRAMA 8
MOLIENDA DE LAS MATERIAS PRIMAS (Diagrama N° 15)

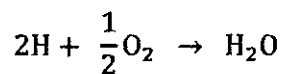
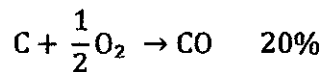
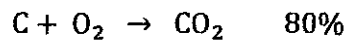


NOTA: En la molienda en seco lo que se requiere es humedecer para evitar levantar polvo y se adiciona el 10% del total de materia que va a ingresar al molino.

DIAGRAMA 9
FILTRACION DE LAS MATERIAS PRIMAS (Diagrama N° 15)



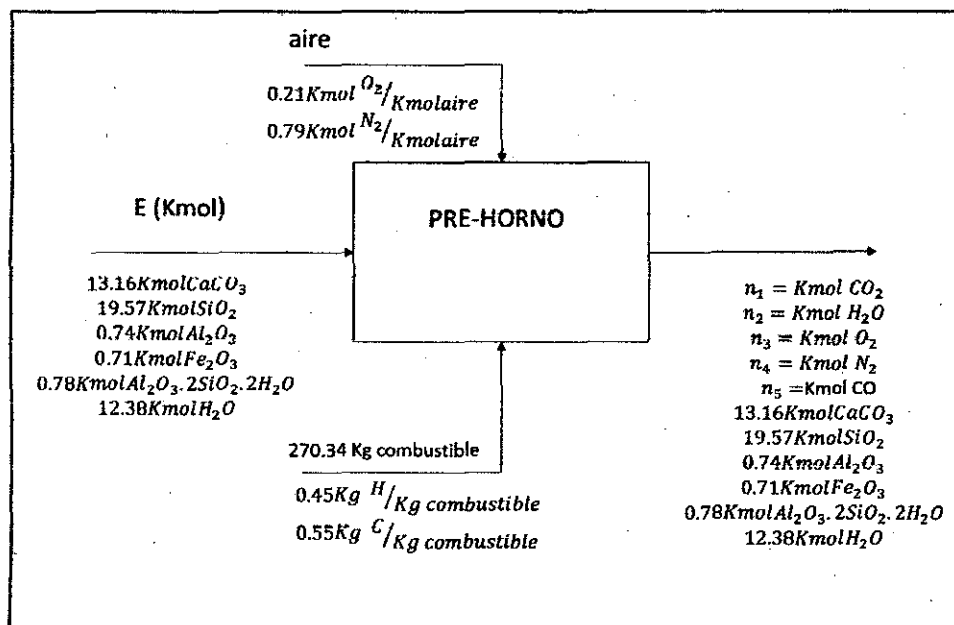
NOTA: Se elimina el 40% de agua en el filtro prensa.



NOTA: Se usó una base de cálculo de 270.34 Kg de combustible y un 203.37% de aire en exceso.⁴

⁴ Tesis "Proceso y reacciones del cemento Portland"

DIAGRAMA 10
PRE CALCINACION DEL AIRE CON EL COMBUSTIBLE



Conversión a kilomoles del combustible:

$$0.45 * 270.34 \text{ Kg H} * \frac{1 \text{ Kmol H}}{1 \text{ Kg H}} = 121.65 \text{ Kmol H}$$

$$0.55 * 270.34 \text{ Kg C} * \frac{1 \text{ Kmol C}}{12 \text{ Kg C}} = 12.39 \text{ Kmol C}$$

$$(n_{O_2})_{\text{teorico}} = \frac{1 \text{ Kmol } O_2}{1 \text{ Kmol C}} * 12.39 \text{ Kmol C} + \frac{0.5 \text{ Kmol } O_2}{2 \text{ Kmol H}} * 121.65 \text{ Kmol H}$$

$$(n_{O_2})_{\text{teorico}} = 42.8 \text{ Kmol } O_2 \text{ teorico}$$

$$(n_{\text{aire}})_{\text{teorico}} = 42.8 \text{ Kmol } O_2 * \frac{1 \text{ Kmolaire}}{0.21 \text{ Kmol } O_2}$$

$$(n_{\text{aire}})_{\text{teorico}} = 203.81 \text{ Kmol aire teorico}$$

$$\% \text{ aire}_{\text{exceso}} = \frac{(n_{\text{aire}})_0 - (n_{\text{aire}})_{\text{teorico}}}{(n_{\text{aire}})_{\text{teorico}}} \quad (4.1)$$

$$1 + 2.03 = \frac{(n_{\text{aire}})_0}{203.81 \text{ Kmol}}$$

$$(n_{\text{aire}})_0 = 617.54 \text{ Kmol aire}$$

$$617.54 \text{ Kmol aire} * \frac{0.21 \text{ Kmol O}_2}{1 \text{ Kmol aire}} = 129.68 \text{ Kmol O}_2$$

$$617.54 \text{ Kmol aire} * \frac{0.79 \text{ Kmol N}_2}{1 \text{ Kmol aire}} = 487.86 \text{ Kmol N}_2$$

Balance molecular del C: E = C

$$C = 12.39 \text{ Kmol C consumido}$$

Balance molecular de H: E = C

$$C = 121.65 \text{ Kmol H consumido}$$

Balance molecular de CO₂: G = S

$$n_1 = \frac{1 \text{ Kmol CO}_2 \text{ generado}}{1 \text{ Kmol C consumido}} * 12.39 \text{ Kmol C consumido}$$

$$n_1 = 12.39 \text{ Kmol CO}_2 * 0.8$$

$$n_1 = 9.91 \text{ Kmol CO}_2$$

Balance molecular de CO: G = S

$$n_5 = \left(\frac{1 \text{ Kmol CO generado}}{1 \text{ Kmol C consumido}} * 12.39 \text{ Kmol C consumido} \right) * 0.2$$

$$n_5 = 2.48 \text{ Kmol CO}$$

Balance molecular de H₂O: G = S

$$n_2 = \frac{1 \text{ Kmol H}_2\text{O generado}}{2 \text{ Kmol H consumido}} * 121.65 \text{ Kmol H consumido}$$

$$n_2 = 60.83 \text{ Kmol H}_2\text{O}$$

Balance molecular de O₂: E = S + C

$$129.68 \text{KmolO}_2$$

$$= n_3 + \frac{1 \text{KmolO}_2 \text{cons}}{1 \text{KmolCcons}} * 12.39 \text{KmolCcons} * 0.8$$

$$+ \frac{0.5 \text{KmolO}_2 \text{cons}}{1 \text{KmolCcons}} * 12.39 \text{KmolCcons} * 0.20$$

$$+ \frac{0.5 \text{KmolO}_2 \text{cons}}{2 \text{KmolHcons}} * 121.65 \text{KmolHcons}$$

$$129.68 = n_3 + 41.56$$

$$n_3 = 88.12 \text{Kmol O}_2$$

Balance molecular del N₂: E = S

$$n_4 = 487.86 \text{Kmol N}_2$$

DIAGRAMA 11
PRE CALCINACION DE LA MATERIA PRIMA A 100°C (Diagrama N° 15)

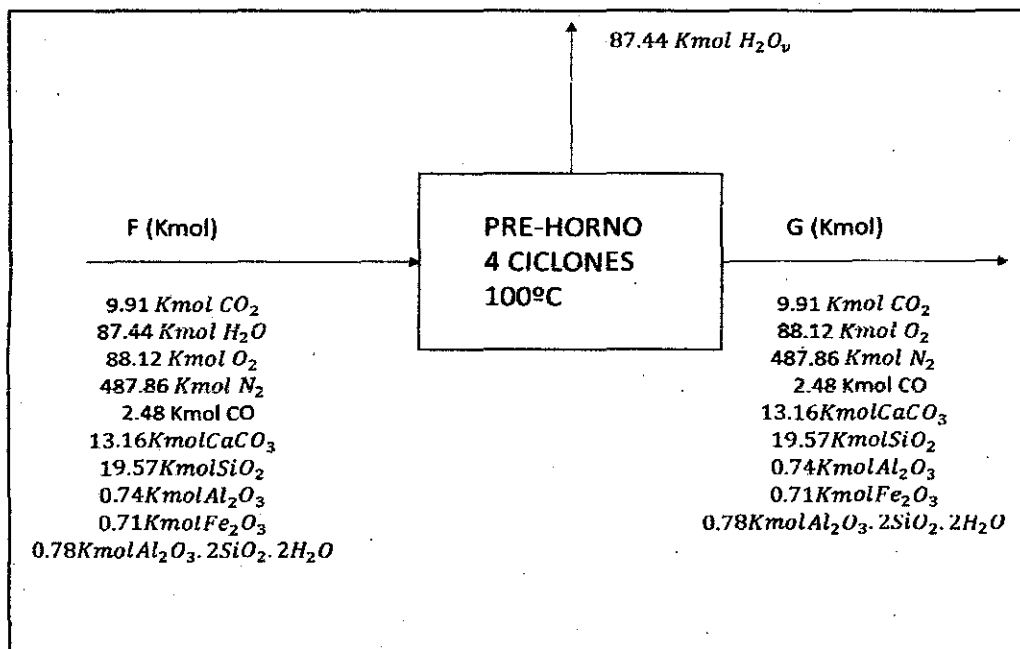
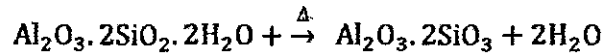
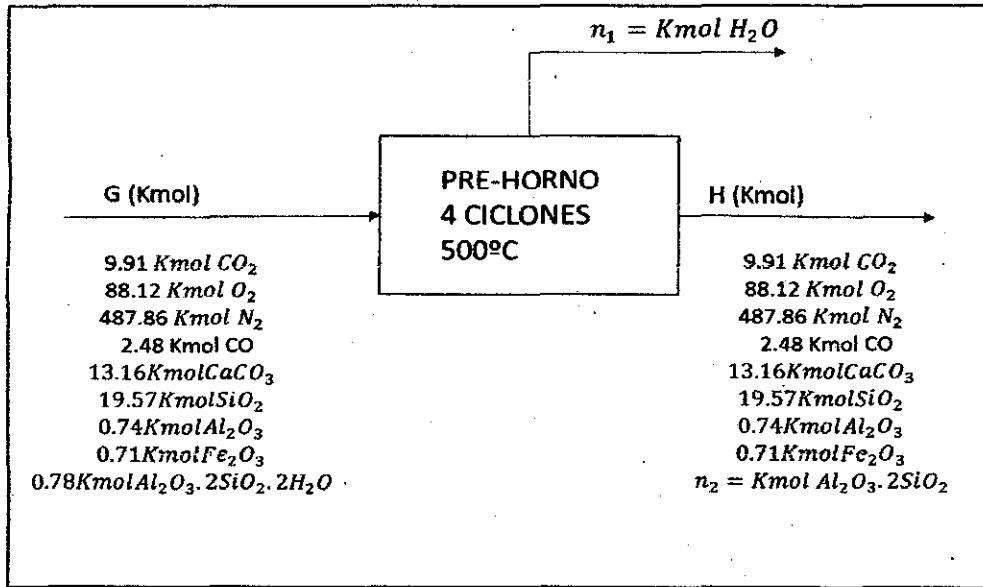


DIAGRAMA 12
PRE CALCINACION DE LA MATERIA PRIMA A 500°C (Diagrama N° 15)



Balance molecular de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: $E = C$

$$C = 0.78 \text{ Kmol Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ consumidos}$$

Balance molecular $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$: $G = S$

$$n_2 = \frac{1 \text{ Kmol Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \text{ gen}}{1 \text{ Kmol Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ cons}} * 0.78 \text{ Kmol Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ cons}$$

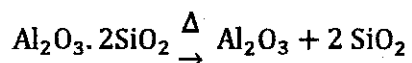
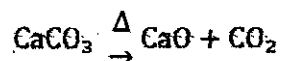
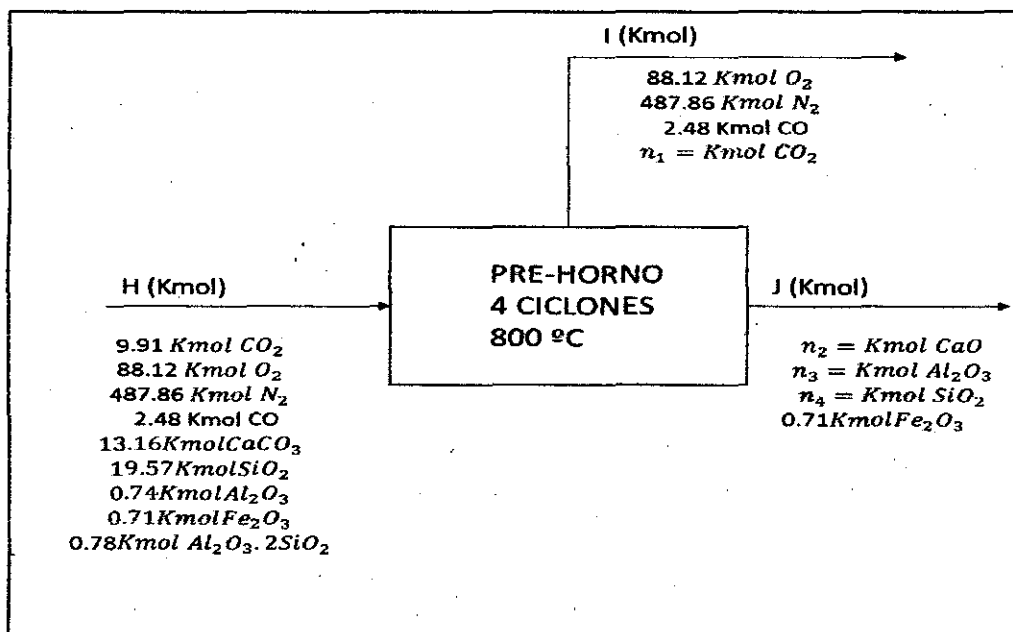
$$n_2 = 0.78 \text{ Kmol Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$$

Balance molecular del H_2O : $G = S$

$$n_1 = \frac{2 \text{ Kmol H}_2\text{O} \text{ gen}}{1 \text{ Kmol Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ cons}} * 0.78 \text{ Kmol Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ cons}$$

$$n_1 = 1.56 \text{ Kmol H}_2\text{O}$$

DIAGRAMA 13
PRE CALCINACION DE LA MATERIA PRIMA A 800°C (Diagrama N° 15)



Balance molecular de $CaCO_3$: $E = C$

$$C = 13.16 \text{ Kmol } CaCO_3 \text{ consumidos}$$

Balance molecular de CaO: $G = S$

$$n_2 = \frac{1 \text{ Kmol CaO generado}}{1 \text{ Kmol } CaCO_3 \text{ consumido}} * 13.16 \text{ Kmol } CaCO_3 \text{ consumido}$$

$$n_2 = 13.16 \text{ Kmol CaO}$$

Balance molecular de CO₂: E + G = S

$$n_1 = 9.91 \text{ kmol CO}_2 + \frac{1 \text{ kmol CO}_2 \text{ generado}}{1 \text{ kmol CaCO}_3 \text{ consumido}} * 13.16 \text{ kmol CaCO}_3 \text{ consumido}$$

$$n_1 = 23.07 \text{ kmol CO}_2$$

Balance molecular de Al₂O₃.2SiO₂: E = C

$$C = 0.78 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2 \text{ consumidos}$$

Balance molecular de Al₂O₃: E + G = S

$$0.74 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3 + \frac{1 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3 \text{ generado}}{1 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2 \text{ consumido}} * 0.78 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2 \text{ consumido} = n_3$$

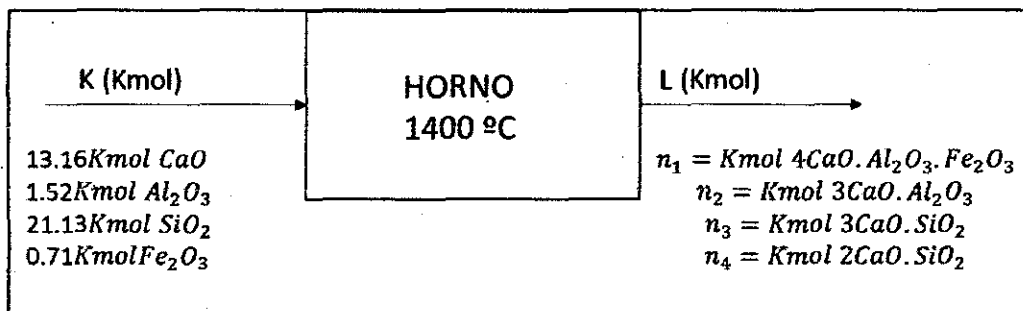
$$n_3 = 1.52 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3$$

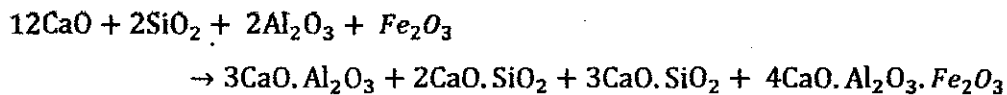
Balance molecular SiO₂: E + G = S

$$19.57 \text{ kmol SiO}_2 + \frac{2 \text{ kmol SiO}_2 \text{ generado}}{1 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2 \text{ consumido}} * 0.78 \text{ kmol Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2 \text{ consumido} = n_4$$

$$n_4 = 21.13 \text{ kmol SiO}_2$$

DIAGRAMA 14
CALCINACION DE LA MATERIA PRIMA A 1400°C (Diagrama N° 15)





Balance molecular de Fe_2O_3 : E = C

$$C = 0.71 \text{ Kmol } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ consumidos}$$

Balance molecular de $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$: G = S

$$n_1 = 0.71 \text{ Kmol } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ cons} * \frac{1 \text{ Kmol } 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ gen}}{1 \text{ Kmol } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ cons}}$$

$$n_1 = 0.71 \text{ Kmol } 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Balance molecular de Al_2O_3 : E = C

$$C = 1.52 \text{ Kmol } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ cons} - 0.71 \text{ Kmol } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ cons} * \frac{2 \text{ Kmol } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ cons}}{1 \text{ Kmol } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ cons}}$$

$$C = 0.1 \text{ Kmol } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ cons}$$

Balance molecular de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$: G = S

$$n_2 = 0.1 \text{ Kmol } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ cons} * \frac{1 \text{ Kmol } 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ generado}}{2 \text{ Kmol } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ cons}}$$

$$n_2 = 0.05 \text{ Kmol } 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$$

Balance molecular de CaO : E = C

$$C = 13.16 \text{ Kmol } \text{CaO} \text{ cons} - 0.1 \text{ Kmol } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ cons} * \frac{12 \text{ Kmol } \text{CaO} \text{ cons}}{2 \text{ Kmol } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ cons}}$$

$$C = 12.56 \text{ Kmol } \text{CaO} \text{ cons}$$

Balance molecular de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: S = G

$$n_3 = 12.56 \text{ kmol } \text{CaO} \text{ cons} * \frac{1 \text{ Kmol } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \text{ generados}}{12 \text{ Kmol } \text{CaO} \text{ cons}}$$

$$n_3 = 1.05 \text{ Kmol } 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$$

Balance molecular de SiO_2 : $E = C$

$$C = 21.13 \text{ Kmol SiO}_2 \text{ cons} - 12.56 \text{ kmol CaO cons} * \frac{2 \text{ Kmol SiO}_2 \text{ cons}}{12 \text{ Kmol CaO cons}}$$

$$C = 19.04 \text{ Kmol SiO}_2 \text{ consumidos}$$

Balance molecular de $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: $S = G$

$$n_4 = 19.04 \text{ Kmol SiO}_2 \text{ cons} * \frac{1 \text{ Kmol } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \text{ generados}}{2 \text{ Kmol SiO}_2 \text{ cons}}$$

$$n_4 = 9.52 \text{ Kmol } 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$$

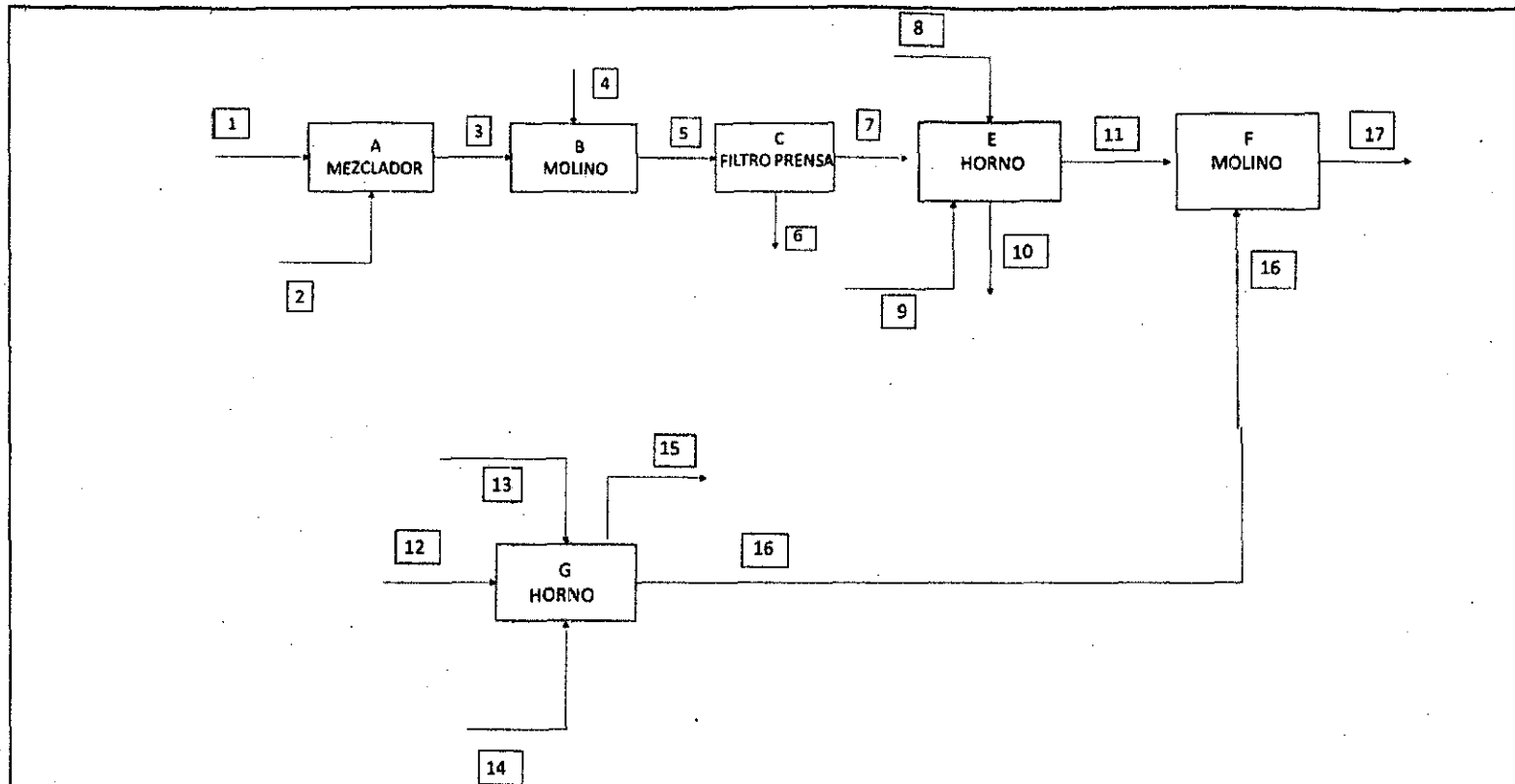


DIAGRAMA 15
PROCESO DE OBTENCION DEL CEMENTO HIDRAULICO

TABLA 20
BALANCE DE MATERIA DE ACUERDO AL DIAGRAMA N° 15

Kg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
compuesto																	
SiO_2	911	263.21	1,174		1,174		1,174					1,117				893.36	893.36
$C_8H_{10}O_3$												2512.58					
$C_7H_8O_3$												1395.68					
escorias	81.11	112.8	194		194	194						558.33			491.52	27.86	27.86
cenizas																39.38	39.38
C								148.69						52.14			
H								121.65						63.72			
CO										69.44						878.64	
CO_2										1101.76						5522.88	
H_2O	57.92		57.92	313	371	148.5	223			1,297						2965.68	
O_2									4149.76	2819.84			10739.84		5596.8		
N_2									13650.08	13660.08			36009.96		36009.96		
$CaCO_3$		1316.05	1316.05		1316.05		1316.05										
Al_2O_3		75.2	75.2		75.2		75.2										
Fe_2O_3		112.8	112.8		112.8		112.8										
$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	202.05		202.05		202.05		202.05										
Silice no formada															223.34		
$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$											345.06						345.06
$2CaO \cdot SiO_2$											1637.44						1637.44
$3CaO \cdot SiO_2$											239.4						239.4
$3CaO \cdot Al_2O_3$											13.5						13.5
TOTAL	1,252	1,880	3,132	313	3,445	342.5	3,103	270	17,810	18,948	2,235	5,584	45,950	116	51,689	961	3,196

*Fuente: Autor

4.7.- BALANCE DE ENERGIA:

4.7.1.- Balance de energía de la cáscara de arroz:

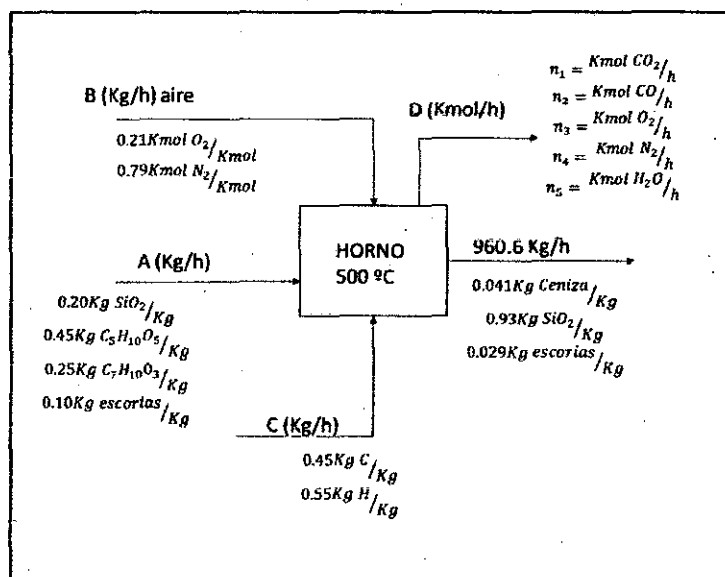
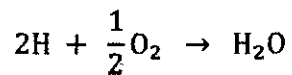
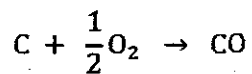
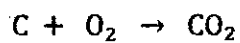
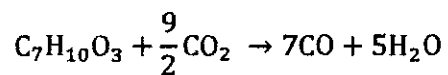
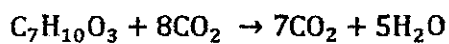
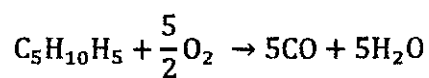
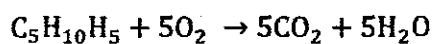


DIAGRAMA 16
CALCINACION DE LA CASCARA DE ARROZ (Diagrama N° 15)



$$\overset{o}{Q} = \overset{o}{\Delta H} = \underbrace{\sum n_i^{\wedge} H_i}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i^{\wedge} H_i}_{\text{entrada}} \quad (4.2)$$

TABLA 21
ENTALPIAS DE LA CASCARA DE ARROZ A 500 °C

Sustancia	25°C		500°C	
	n _{entrada}	Λ H _{entrada}	n _{salida}	Λ H _{salida}
O ₂	341.87	0	174.9	15030
N ₂	1286.07	0	1286.07	14240
C ₅ H ₁₀ O ₅	16.75	9715.992	-	-
C ₇ H ₁₀ O ₃	9.83	8419.53	-	-
SiO ₂	18.61	894	14.89	2319
Cenizas	-	-	-	-
C	4.34	42.912	-	-
H	63.72	5.36	-	-
CO ₂	-	-	125.52	21340+(-393500)
CO	-	-	31.38	14380+(-110520)
H ₂ O	-	-	164.76	17010+(-241830)
Σ	262671.96 Kj/h		-65794825.89 Kj/h	

*Fuente: Autor

Capacidades caloríficas a 25 °C:

$$C_{p_{O_2}} = 0$$

$$C_{p_{N_2}} = 0$$

$$C_{p_{C_5H_{10}O_5}} = 217.36 \frac{J}{Kg \cdot K} * 150 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = \frac{9715.992Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{C_7H_{10}O_3}} = 198.968 \frac{J}{Kg \cdot K} * 142 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 8419.53 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg \cdot K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 894 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_C} = 12 \frac{J}{Kg \cdot K} * 12 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 42.912 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_H} = 17.974 \frac{J}{Kg \cdot K} * 1 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 5.36 \frac{Kj}{Kmol}$$

Capacidades caloríficas a 500 °C:

$$C_{p_{O_2}} = 15.03 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1kmol} = 15030 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{N_2}} = 14.24 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 14240 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg \cdot K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 2319 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_C} = 12 \frac{J}{Kg \cdot K} * 12 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 105.552 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 21.34 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mol}}{1\text{Kmol}} = 21340 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO}} = 14.38 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mol}}{1\text{Kmol}} = 14380 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{H_2O}} = 17.01 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mol}}{1\text{Kmol}} = 17010 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\left(\overset{o}{\Delta H_f} \right)_{CO_2} = -393.5 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mol}}{1\text{Kmol}} = -393500 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\left(\overset{o}{\Delta H_f} \right)_{CO} = -110.52 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mol}}{1\text{Kmol}} = -110520 \text{ Kj/Kmol}$$

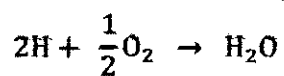
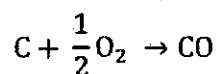
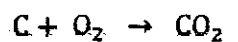
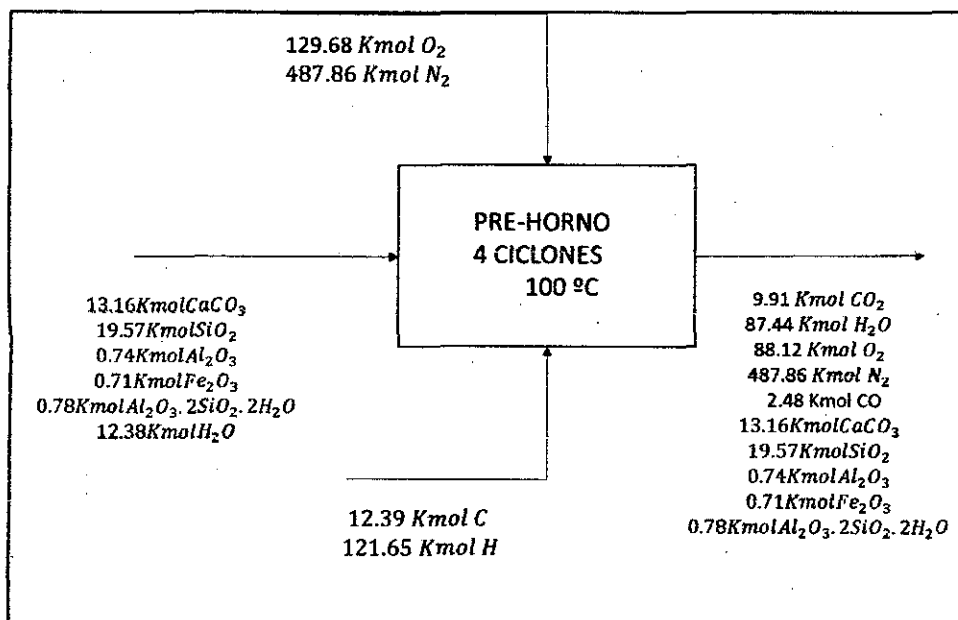
$$\left(\overset{o}{\Delta H_f} \right)_{H_2O} = -241.83 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mol}}{1\text{Kmol}} = -241830 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\overset{o}{\Delta H} = -65794825.89 \frac{\text{Kj}}{\text{h}} - 262671.96 \text{Kj/h}$$

$$\overset{o}{\Delta H} = -66057497.85 \text{ Kj/h}$$

4.7.2.- Balance de energía del cemento Portland:

DIAGRAMA 17
PRE CALCINACION DEL CEMENTO PORTLAND A 100°C (Diagrama N° 15)



$$\overset{o}{Q} = \overset{o}{\Delta H} = \underbrace{\sum n_i \hat{H}_i}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i \hat{H}_i}_{\text{entrada}} \quad (4.2)$$

TABLA 22
ENTALPIAS DEL CEMENTO PORTLAND A 100 °C

sustancia	25 °C		100 °C	
	n _{entrada}	A H _{entrada}	n _{salida}	A H _{salida}
CaCO ₃	13.16	2518.1	13.16	3151.85
Al ₂ O ₃	0.74	23556.9	0.74	29485.65
Fe ₂ O ₃	0.71	45105.28	0.71	56457.28
Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ 2H ₂ O	0.78	71839.90	0.78	91172.092
SiO ₂	19.57	894	19.57	1119
O ₂	129.68	0	88.12	2240
N ₂	487.86	0	487.86	2190
C	12.39	26.82	-	-
H	121.65	2.86	-	-
CO ₂	-	-	9.91	2900+(-393500)
CO	-	-	2.48	2190+(-110520)
H ₂ O	12.38	0	87.44	2540+(-241830)
Σ	156805.97 Kj/h		-23600824.3 Kj/h	

*Fuente: Autor

Capacidades caloríficas a 25 °C:

$$C_{pO_2} = 0$$

$$C_{pN_2} = 0$$

$$C_{pH_2O} = 0$$

$$C_{p_{CaCO_3}} = 84.5 \frac{J}{Kg * K} * 100 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 2518.1 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3}} = 775 \frac{J}{Kg * K} * 102 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 23556.9 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Fe_2O_3}} = 946 \frac{J}{Kg * K} * 160 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 45105.28 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O}} = 947.4 \frac{J}{Kg * K} * 258 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 72839.90 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg * K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 894 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_C} = 7.5 \frac{J}{Kg * K} * 12 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 26.82 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_H} = 9.6 \frac{J}{Kg * K} * 1 \frac{Kg}{Kmol} * 298K * \frac{1Kj}{1000J} = 2.86 \text{ Kj/Kmol}$$

Capacidades caloríficas a 100 °C:

$$C_{p_{CaCO_3}} = 84.5 \frac{J}{Kg * K} * 100 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 3151.85 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3}} = 775 \frac{J}{Kg * K} * 102 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 29485.65 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Fe_2O_3}} = 946 \frac{J}{Kg * K} * 160 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 56457.28 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O}} = 947.4 \frac{J}{Kg * K} * 258 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 91172.092 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg \cdot K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 119 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{O_2}} = 2.24 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2240 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{N_2}} = 2.19 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2190 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 2.90 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2900 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{CO}} = 2.19 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2190 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{H_2O}} = 2.54 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2540 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$\left(\overset{o}{\Delta H_f} \right)_{CO_2} = -393.5 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = -393500 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$\left(\overset{o}{\Delta H_f} \right)_{CO} = -110.52 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = -110520 \frac{Kj}{Kmol}$$

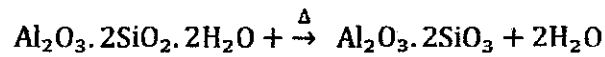
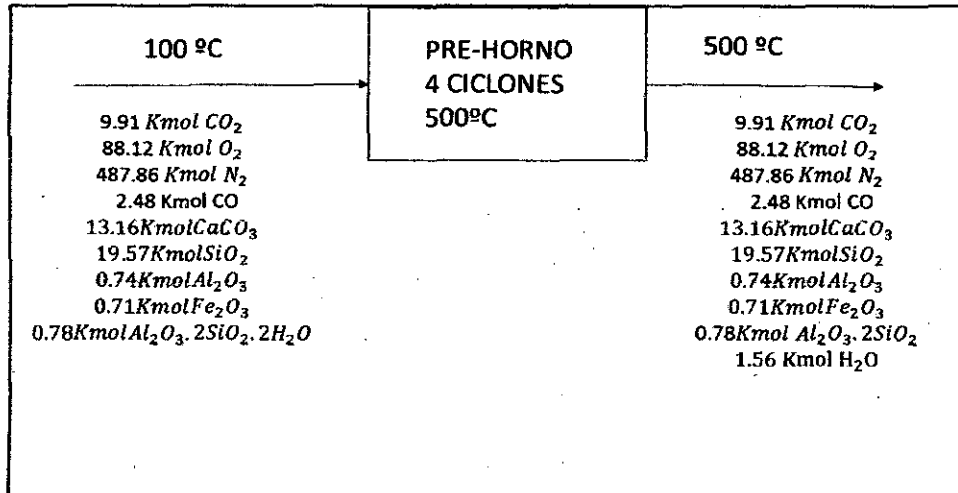
$$\left(\overset{o}{\Delta H_f} \right)_{H_2O} = -241.83 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = -241830 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$\overset{o}{Q} = \overset{o}{\Delta H} = \underbrace{\sum n_i \overset{\wedge}{H_i}}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i \overset{\wedge}{H_i}}_{\text{entrada}} \quad (4.2)$$

$$\overset{o}{\Delta H} = 23600824.3 \frac{Kj}{h} - 156805.97 \frac{Kj}{h}$$

$$\Delta H^0 = -23757630.27 \text{ KJ/h}$$

DIAGRAMA 18
PRE CALCINACION DEL CEMENTO PORTLAND A 500°C (Diagrama N° 15)



$$\frac{Q}{\Delta H} = \frac{n_{AR}}{v_A} \cdot \Delta H_r^0 + \underbrace{\sum n_i \widehat{\Delta H}_i}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i \widehat{\Delta H}_i}_{\text{entrada}} \quad (4.3)$$

$$\frac{Q}{\Delta H_r} = \underbrace{\sum |v_i| \Delta \dot{H}_{f_i}}_{\text{producto}} - \underbrace{\sum |v_i| \Delta \dot{H}_{f_i}}_{\text{reactivos}} \quad (4.4)$$

TABLA 23
ENTALPIAS DEL CEMENTO PORTLAND A 500 °C

sustancia	100 °C		500 °C	
	$n_{entrada}$	$A_{H_{entrada}}$	n_{salida}	$A_{H_{salida}}$
$CaCO_3$	13.16	3151.85	13.16	6531.85
Al_2O_3	0.74	29485.65	0.74	61105.65
$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	0.78	91172.09	-	-
SiO_2	19.57	1119	19.57	2319
O_2	88.12	2240	88.12	15030
N_2	487.86	2190	487.86	14240
Fe_2O_3	0.71	56457.28	0.71	117001.28
CO_2	9.91	2900	9.91	21340
CO	2.48	2190	2.48	14380
$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	-	-	0.78	150155.25
H_2O	-	-	1.56	17010
Σ	1496367.86 Kj/h		8921999.56 Kj/h	

*Fuente: Autor

Capacidades caloríficas a 100 °C:

$$C_{p_{CaCO_3}} = 84.5 \frac{J}{Kg \cdot K} * 100 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 3151.85 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3}} = 775 \frac{J}{Kg \cdot K} * 102 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 29485.65 \frac{Kj}{Kmol}$$

$$C_{p_{Fe_2O_3}} = 946 \frac{J}{Kg * K} * 160 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 56457.28 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}} = 947.4 \frac{J}{Kg * K} * 258 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 91172.09 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg * K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 373K * \frac{1Kj}{1000J} = 1119 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{O_2}} = 2.24 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2240 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{N_2}} = 2.19 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2190 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 2.90 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2900 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO}} = 2.19 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 2190 \text{ Kj/Kmol}$$

Capacidades caloríficas a 500 °C:

$$C_{p_{CaCO_3}} = 84.5 \frac{J}{Kg * K} * 100 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 6531.85 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3}} = 775 \frac{J}{Kg * K} * 102 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 61105.65 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Fe_2O_3}} = 946 \frac{J}{Kg * K} * 160 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 117001.28 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2}} = 875 \frac{J}{Kg * K} * 222 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 150155.25 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg \cdot K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 2319 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{O_2}} = 15.03 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 15030 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{N_2}} = 14.24 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 14240 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 21.34 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 21340 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO}} = 14.38 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 14380 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{H_2O}} = 17.01 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 17010 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\Delta H_r^0 = \underbrace{\sum |v_i| \Delta H_{f_i}}_{\text{producto}} - \underbrace{\sum |v_i| \Delta H_{f_i}}_{\text{reactivos}} \quad (4.4)$$

$$\text{Producto: } \Delta H_{f_{H_2O}} = 2 * (-241.83 \text{ Kj/mol}) = -483.66 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_{f_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2}} = 1 * (-2675 \text{ Kj/mol}) = -2675 \text{ Kj/mol}$$

$$\text{Reactivos: } \Delta H_{f_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}} = 1 * (-5748.33 \text{ Kj/mol}) = -5748.33 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_r^0 = (-483.66 - 2675) - (-5748.33)$$

$$\Delta H_r^0 = 2589.67 \text{ Kj/mol}$$

$$\left| \frac{n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}}{V_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}} \right| = \frac{0.78 \text{ Kmole } Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \text{ consumido}}{1}$$

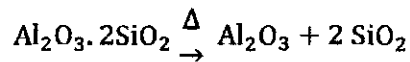
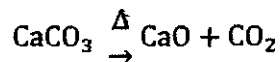
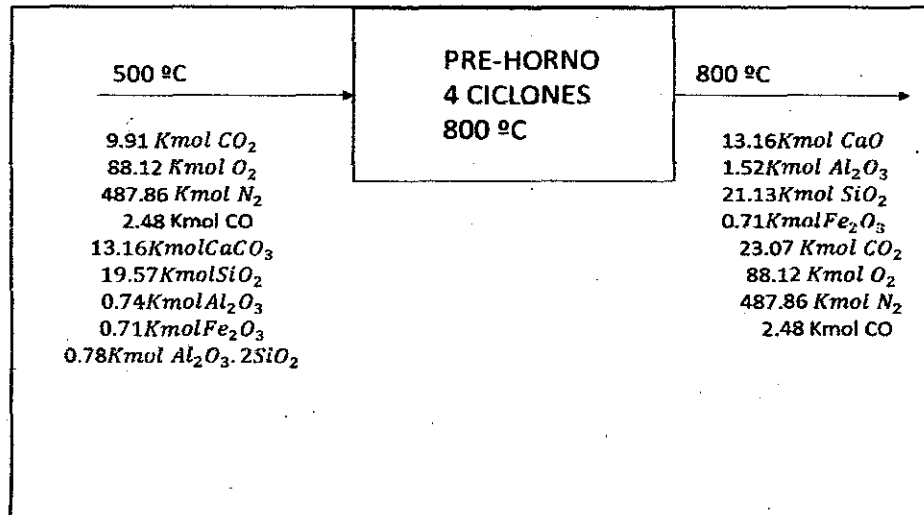
$$\left| \frac{n_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}}{V_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}} \right| = 0.78 \text{ Kmol}$$

$$\frac{Q}{\Delta H} = \frac{Q}{\Delta H} = \left| \frac{n_{AR}}{V_A} \right| \cdot \Delta H_r + \underbrace{\sum n_i \Delta H_i}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i \Delta H_i}_{\text{entrada}} \quad (4.3)$$

$$\frac{Q}{\Delta H} = 2589.67 \cdot 0.78 \cdot 1000 + 8921999.56 - 1496367.86$$

$$\frac{Q}{\Delta H} = 9445574.3 \text{ Kj/mol}$$

DIAGRAMA 19
PRE CALCINACION DEL CEMENTO PORTLAND A 800°C (Diagrama N° 15)



$$\frac{Q}{\Delta H} = \frac{Q}{\Delta H} = \underbrace{\sum n_i \Delta H_i}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i \Delta H_i}_{\text{entrada}} \quad (4.2)$$

TABLA 24
ENTALPIAS DEL CEMENTO PORTLAND A 800 °C

sustancia	500 °C		800 °C	
	$n_{entrada}$	$\Lambda H_{entrada}$	n_{salida}	ΛH_{salida}
CaCO ₃	13.16	6531.85	-	-
Al ₂ O ₃	0.74	61105.65	1.52	84820.65+(-1675700)
SiO ₂	19.57	2319	21.13	3219+(-1821880)
O ₂	88.12	15030	88.12	25350
N ₂	487.86	14240	487.86	23860
CO ₂	9.91	21340	23.07	37360+(-393500)
CO	2.48	14380	2.48	24130
Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	0.78	150155.25	-	-
Fe ₂ O ₃	0.71	117001.28	0.71	162409.28
CaO	-	-	13.16	2583.784+(-635090)
Σ	8895463.96 Kj/h		-43337040.6 Kj/h	

*Fuente: Autor

Capacidades caloríficas a 500 °C:

$$C_{p_{CaCO_3}} = 84.5 \frac{J}{Kg \cdot K} * 100 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 6531.85 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3}} = 775 \frac{J}{Kg \cdot K} * 102 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 61105.65 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Fe_2O_3}} = 946 \frac{J}{Kg \cdot K} * 160 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 117001.28 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2}} = 875 \frac{J}{Kg \cdot K} * 222 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 150155.25 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg \cdot K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 773K * \frac{1Kj}{1000J} = 2319 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{O_2}} = 15.03 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 15030 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{N_2}} = 14.24 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 14240 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 21.34 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 21340 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO}} = 14.38 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 14380 \text{ Kj/Kmol}$$

Capacidades caloríficas a 800 °C:

$$C_{p_{CaO}} = 43 \frac{J}{Kg \cdot K} * 56 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 2583.784 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3}} = 775 \frac{J}{Kg \cdot K} * 102 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 84820.65 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Fe_2O_3}} = 946 \frac{J}{Kg \cdot K} * 160 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 162409.28 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg \cdot K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 3219 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{O_2}} = 25.35 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 25350 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{N_2}} = 23.86 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 23860 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 37.36 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 37360 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{CO}} = 24.13 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} = 24130 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\Delta H_{f_{Al_2O_3}} = 1 * \left(-1675.70 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} \right) = -1675700 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\Delta H_{f_{CO_2}} = 1 * \left(-393.5 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} \right) = -393500 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\Delta H_{f_{SiO_2}} = 2 * \left(-910.94 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} \right) = -1821880 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\Delta H_{f_{CaO}} = 1 * \left(-635.09 \frac{Kj}{mol} * \frac{1000mol}{1Kmol} \right) = -635090 \text{ Kj/Kmol}$$

$$Q = \Delta H = \sum_{salida} n_i \hat{H}_i - \sum_{entrada} n_i \hat{H}_i \quad (4.2)$$

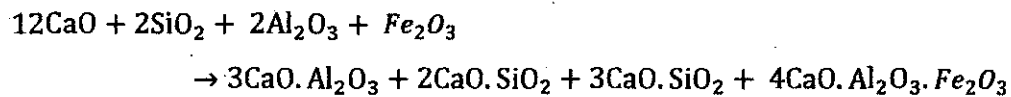
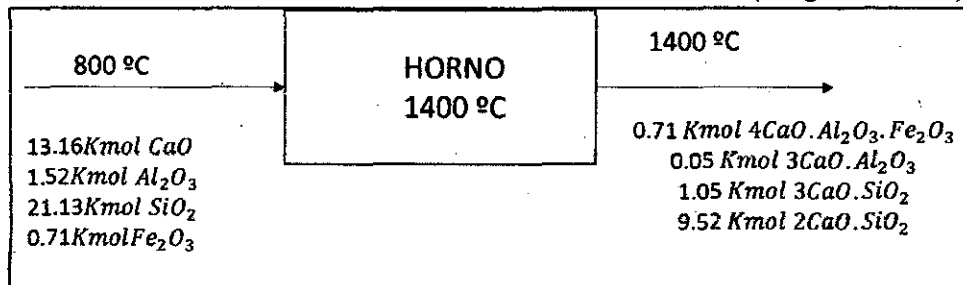
$$\Delta H^0 = -43337040.6 - 8895463.96$$

$$\Delta H^0 = -52232504.56 \text{ Kj/h}$$

$$\Delta \dot{H}_{total\ pre-horno} = -23757630.27 + 9445574.3 - 52232504.56 \text{ Kj/h}$$

$$\Delta \dot{H}_{total\ pre-horno} = -66544560.53 \text{ Kj/h}$$

DIAGRAMA 20
CALCINACION DEL CEMENTO PORTLAND A 1400°C (Diagrama N° 15)



$$\overset{o}{Q} = \overset{o}{\Delta H} = \left| \frac{n_{AR}}{v_A} \right| \cdot \overset{o}{\Delta H_r} + \underbrace{\sum n_i \overset{\Delta}{H}_i}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i \overset{\Delta}{H}_i}_{\text{entrada}} \quad (4.3)$$

$$\overset{o}{\Delta H_r} = \underbrace{\sum |v_i| \overset{\Delta}{H}_{f_i}}_{\text{producto}} - \underbrace{\sum |v_i| \overset{\Delta}{H}_{f_i}}_{\text{reactivos}} \quad (4.4)$$

TABLA 25
ENTALPIAS DEL CEMENTO PORTLAND A 1400 °C

sustancia	800 °C		1400 °C	
	n_{entrada}	$\overset{\Delta}{H}_{\text{entrada}}$	n_{salida}	$\overset{\Delta}{H}_{\text{salida}}$
Al_2O_3	1.52	84820.65	-	-
SiO_2	21.13	3219	-	-
CaO	13.16	2583.784	-	-
Fe_2O_3	0.71	162409.28	-	-

4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	-	-	0.71	1539156.65
2CaO. SiO ₂	-	-	9.52	39134.82
3CaO. Al ₂ O ₃	-	-	0.05	408345.84
3CaO. SiO ₂	-	-	1.05	68278.48
Σ	346258.04 Kj/h		1557474.4 Kj/h	

*Fuente: Autor

Capacidades caloríficas a 800 °C:

$$C_{p_{CaO}} = 43 \frac{J}{Kg \cdot K} * 56 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 2583.784 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Al_2O_3}} = 775 \frac{J}{Kg \cdot K} * 102 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 84820.65 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{SiO_2}} = 50 \frac{J}{Kg \cdot K} * 60 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 3219 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{Fe_2O_3}} = 946 \frac{J}{Kg \cdot K} * 160 \frac{Kg}{Kmol} * 1073K * \frac{1Kj}{1000J} = 162409.28 \text{ Kj/Kmol}$$

Capacidades caloríficas a 1400 °C:

$$C_{p_{4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3}} = 1893 \frac{J}{Kg \cdot K} * 486 \frac{Kg}{Kmol} * 1673K * \frac{1Kj}{1000J} = 1539156.65 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{3CaO.Al_2O_3}} = 904 \frac{J}{Kg \cdot K} * 270 \frac{Kg}{Kmol} * 1673K * \frac{1Kj}{1000J} = 408345.84 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{3CaO.SiO_2}} = 179 \frac{J}{Kg \cdot K} * 228 \frac{Kg}{Kmol} * 1673K * \frac{1Kj}{1000J} = 68278.48 \text{ Kj/Kmol}$$

$$C_{p_{2CaO.SiO_2}} = 136 \frac{J}{Kg \cdot K} * 172 \frac{Kg}{Kmol} * 1673K * \frac{1Kj}{1000J} = 39134.82 \text{ Kj/Kmol}$$

$$\Delta H_r^0 = \sum_{\text{producto}} |v_i| \Delta H_{f_i} - \sum_{\text{reactivos}} |v_i| \Delta H_{f_i} \quad (4.4)$$

$$\text{Reactivos: } \Delta H_{f_{\text{CaO}}} = 12 * (-635.09 \text{ Kj/mol}) = -7621.08 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_{f_{\text{SiO}_2}} = 2 * (-910.94 \text{ Kj/mol}) = -1821.88 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_{f_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = 2 * (-1675.70 \text{ Kj/mol}) = -3351.4 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_{f_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} = 1 * (-822.2 \text{ Kj/mol}) = -822.2 \text{ Kj/mol}$$

$$\text{Productos: } \Delta H_{f_{2\text{CaO.SiO}_2}} = 1 * (192.56 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}}) = 192.56 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_{f_{3\text{CaO.SiO}_2}} = 1 * (233.36 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}}) = 233.36 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_{f_{3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3}} = 1 * (279.63 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}}) = 279.63 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_{4\text{CaO.Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1 * (320.43 \frac{\text{Kj}}{\text{mol}}) = 320.43 \text{ Kj/mol}$$

$$\Delta H_r^0 = (192.56 + 233.36 + 279.63 + 320.43) - (-7621.08 - 1821.88 - 3351.4 - 822.2)$$

$$\Delta H_r^0 = 14642.54 \text{ Kj/mol}$$

$$\left| \frac{n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}}{v_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} \right| = \frac{0.71 \text{ Kmole Fe}_2\text{O}_3 \text{ consumido}}{1}$$

$$\left| \frac{n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}}{v_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} \right| = 0.71 \text{ Kmole}$$

$$\frac{\overset{\circ}{Q}}{\overset{\circ}{\Delta H}} = \left| \frac{n_{AR}}{v_A} \right| \cdot \overset{\circ}{\Delta H_r} + \underbrace{\sum n_i \widehat{\Delta H_i}}_{\text{salida}} - \underbrace{\sum n_i \widehat{\Delta H_i}}_{\text{entrada}} \quad (4.3)$$

$$\overset{\circ}{\Delta H} = 0.71 * 14642.54 * 1000 + 1557474.4 - 346258.04$$

$$\overset{\circ}{\Delta H} = 11607419.76 \text{ Kj/h}$$

$$\overset{\circ}{\Delta H_{\text{total horno}}} = 11607419.76 \text{ Kj/h}$$

NOTA: Las capacidades caloríficas y entalpías de formación de los compuestos orgánicos e inorgánicos son de la fuente de compendio de las propiedades de compuestos orgánicos e inorgánicos y de la tabla de propiedades físicas.

CAPITULO V

DISEÑO DE EQUIPOS DEL PROCESO

5.1.- DISEÑO DE LOS EQUIPOS PRICIPALES:

5.1.1 Diseño y cálculo de una trituradora de mandíbula para la piedra caliza:

La reducción de tamaño de las distintas materias hasta convertirlas en un polvo fino (generalmente denominado HARINA) es necesaria al objeto de conseguir una mezcla homogénea de las materias primas, que por cocción en el horno, se convierta rápidamente en CLINKER sin presencia de cal libre.

Usualmente, la reducción de tamaño se realiza, por lo menos, en dos etapas principales:

Reducción preliminar: TRITURACIÓN.

Reducción fina: MOLIENDA.

La trituración es la primera etapa de la operación de reducción de tamaño de las materias primas (Admitiendo el mayor tamaño posible) y tiene por objetivo obtener un producto fácilmente transportable, que se preste bien a la operación de pre-homogeneización en montones y cuyo tamaño sea lo más fino posible y, en cualquier caso, cuyo tamaño superior sea aceptable como alimentación de los molinos de crudo, que, generalmente, es del orden de 25-30 mm o incluso 50 mm. De este modo se mejora la eficacia de la operación de molienda.

La característica general de las instalaciones de trituración de una cementera es su simplicidad, puesto que se pasa en una sola etapa, generalmente, de la dimensión de las materias primas tal y como se obtienen de la explotación minera (Bloques de hasta 2 metros) a 25-30 mm. Esto es debido a la buena aptitud de los materiales a la trituración y a la débil abrasividad. Como norma general se suele considerar como roca abrasiva aquella que contiene por encima de un 3 % de óxido de sílice libre o por encima de un 10 % de dolomía.

Por lo tanto, y siempre que la abrasividad lo permita, que es en la mayoría de las ocasiones, diseñan instalaciones lo más sencillas posible, es decir, instalaciones con trituradoras de impactos (de choque, de martillos, de cilindros dentados, etc.), dado que

su coeficiente de reducción es notablemente superior al de aquellas cuyo concepto de trituración es el de la compresión (Trituradoras de mandíbulas y giratorias).

Hoy en día, están bastante extendidas las instalaciones de trituración móviles, con un equipo de desplazamiento a base de orugas, etc., las cuales van siguiendo el frente de la explotación y que se alimenta directamente por las máquinas cargadoras.

En la extracción de las materias primas de la cantera, se da frecuentemente el caso de un alejamiento del frente de la cantera con respecto al emplazamiento de la trituradora primaria de impactos existente. En este caso, una machacadora de mandíbulas próxima al frente de explotación puede resolver el problema, efectuando un grado de reducción previo, permitiendo la creación de un stock intermedio, eliminando transporte móvil (camiones) y mejorando, incluso, la capacidad de producción de la trituradora de impactos existente.

Los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de elegir el tipo de trituradora son los siguientes:

- a) Tamaño de la alimentación. Método de explotación y equipo de cantera.
- b) Grado de reducción.
- c) Capacidad promedio de producción requerida (Producción por unidad de tiempo alta).
- d) Características del material a triturar (Posibilidad de trituración de cualquier material).
- e) Granulometría y forma de los trozos del material triturado (Tamaño de alimentación a molinos)
- f) Inversión inicial. Relación (inversión/producción) baja.
- g) Costes de operación y mantenimiento (Consumo de energía bajo y desgaste reducido)

5.1.1.1.- Tamaño de la alimentación. Método de explotación y equipo de cantera:

La estructura geológica y el método de explotación de la cantera tienen una influencia directa en la selección del tipo de trituradora. Al seleccionar el método de explotación debe tenerse en cuenta el efecto que tendrá en la trituración primaria. En términos generales, cuanto más grande sea el tamaño de alimentación, el cual depende del método de explotación y este a su vez de la estructura geológica de la cantera, el coste de la trituración será mayor.

Cuando se utiliza una pala o cargador frontal para extraer la materia prima, debe cumplir con los requisitos de la trituración primaria, ya que el tamaño del material depende del tamaño de la cuchara, por lo que hay que cuidarse de recoger piedras demasiado grandes.

Utilizando explotación por voladura, la estructura geológica de la cantera influye en el tamaño de las piedras y, por tanto, tiene una considerable influencia en la selección y tamaño de la trituradora. Si la cantera es estratificada, se puede hacer una voladura económica sin problemas en la alimentación para las trituradoras giratorias o de rodillos con dientes. Pero si la voladura produce piedras masivas es preferible una de mandíbulas a una giratoria.

5.1.1.2.- Capacidad promedio de producción requerida: Este factor viene determinado por los requerimientos de producción. Para una determinada trituradora la capacidad de producción depende del tamaño de producto, así, por ejemplo, una trituradora de mandíbulas operando a 750 t/h dando un producto de 150 mm., solamente dará 600 t/h cuando se quiera reducir el tamaño del producto a 80 mm.

Cabe mencionar que si el material alimentado contiene un exceso de finos, estos pasarán a través de la trituradora más rápido con lo que la capacidad de producción se incrementará.

También hay que tener en cuenta, el tanto por ciento del periodo total de operación que la trituradora opera a su plena capacidad, lo que depende de la uniformidad de la alimentación en el tiempo. Normalmente, una trituradora

deberá exceder la producción diaria de un 25 a un 70 % dependiendo de las horas de operación.

5.1.1.3.- Características del material a triturar: Hay que estudiar las siguientes características del material Evaluación cuantitativa de su resistencia a la trituración (por ejemplo: suave, medio duro y muy duro), contenido de humedad y abrasividad (Caliza con sílice abrasiva).

Así, por ejemplo, cuando se trate de materiales muy duros, que pueden causar grandes desgastes por abrasión, han de escogerse máquinas de movimiento lento, tales como las trituradoras de mandíbulas o giratorias, mientras que si la dureza es media es apropiado el empleo de trituradoras de impacto o de martillos, en las cuales la fragmentación se realiza principalmente por choque.

5.1.1.4.- Granulometría y forma de los trozos del material triturado (Tamaño de alimentación a molinos): Este factor está en función del tipo de molino de crudo. Cuanto menor sea el tamaño de alimentación al molino, más reducción hay que efectuar en la trituración. No obstante, cuando se selecciona una trituradora primaria, esta deberá ajustarse para dar el mínimo tamaño de producto y obtener así el máximo grado de reducción posible. El tamaño máximo de material alimentado y sus características determinarán el número de etapas requerido.

5.1.1.5.- Inversión inicial: Normalmente cuando se invierte en instalaciones de una fábrica de cemento, se espera que esta trabaje como mínimo 50 años, por lo que cualquier inversión fuerte, siempre y cuando esté justificada, pueda ser realizada.

5.1.1.6.- Grado de reducción: *Grado de reducción*. Se suele denominar por n y se define por la relación que existe entre la mayor dimensión lineal (D) del material de alimentación y la mayor dimensión lineal del material triturado o molido (d), es decir:

$$n = \frac{D_{max}}{d_{max}}$$

Ante la dificultad que presenta la determinación del mayor tamaño de partícula, tanto en la alimentación como en el producto triturado o molido, el grado de reducción se suele definir por la relación entre el diámetro de tamiz que permita el paso de un mismo tanto por ciento del material de alimentación y del saliente

5.1.1.7.- Etapas de trituración: Dentro de un proceso de trituración pueden existir varias etapas, que van desde primaria, secundaria hasta terciaria, dependiendo del tamaño de alimentación que envíe la cantera, de las características del material que se va a triturar y de las necesidades del proceso (por ejemplo tamaño de alimentación al molino de crudo). Si todas las etapas se incluyen en la operación de trituración, las reducciones típicas serán:

Primaria $n = 5$; Secundaria $n = 7$; Terciaria $n = 6$

Así para un tamaño de alimentación de 700 - 1000 mm mediante la etapa primaria de trituración se pasaría a 120 - 200 ($n = 5$). Posteriormente en la etapa secundaria con $n = 7$ se pasaría a 20 - 25 mm. Este tamaño de material ya es adecuado para ser alimentado a los molinos de crudo. Sin embargo, para aumentar la eficiencia de la molienda de crudo se puede disponer de una tercera etapa de trituración ($n = 6$) con lo que se pasaría a 4-5 mm. El grado de reducción total sería $n = 200$ y hasta la etapa secundaria $n = 35$.

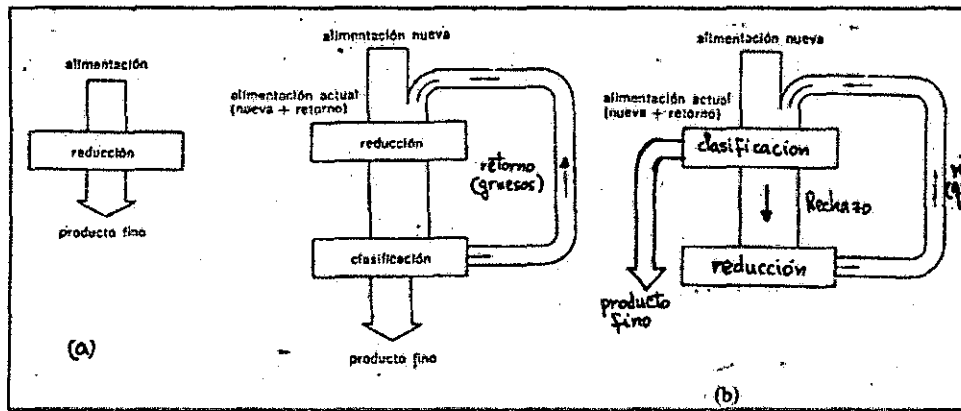
Las únicas trituradoras que pueden alcanzar un grado de reducción elevado, por ejemplo, $n > 50$, en una simple operación, de tal modo que se puede suprimir la etapa secundaria, son aquellas que funcionan bajo el principio de impacto, p.e. una trituradora de martillos.

Cabe mencionar que es muy importante el método de explotación de la cantera, generalmente por voladura, ya que cuanto menor sea el tamaño de roca que se produce, más factible será disminuir las etapas de trituración.

Reducción en una sola etapa: Se consigue la finura deseada mediante la acción de una sola máquina, la cual puede funcionar en circuito abierto o en circuito cerrado (Figura 12).

Reducción en etapas múltiples. La finura deseada se consigue mediante dos o más maquinas dispuestas en serie, cada una de las cuales puede funcionar en circuito abierto o cerrado.

FIGURA 12
(a).- REDUCCIÓN EN UNA SOLA ETAPA EN CIRCUITO ABIERTO. (b).- REDUCCION EN UNA SOLA ETAPA EN CIRCUITO CERRADO



5.1.1.8.- Trituradora de mandíbula: Las trituradoras de mandíbulas se emplean en la fragmentación de materiales muy duros y/o abrasivos (cuarcita, óxido férrico, costras y bolas de Clínter, etc.)

Este tipo de trituradoras son muy susceptibles a la humedad, así cuando se las alimenta con materiales húmedos o con cierta plasticidad (pegajosos) pueden formarse atascos, principalmente si, la alimentación tiene una elevada proporción de finos, por tanto, no son apropiadas para ese tipo de materiales. Sin embargo, son capaces de triturar productos blandos y que discurren difícilmente, los cuales no es posible pasarlos por una trituradora giratoria.

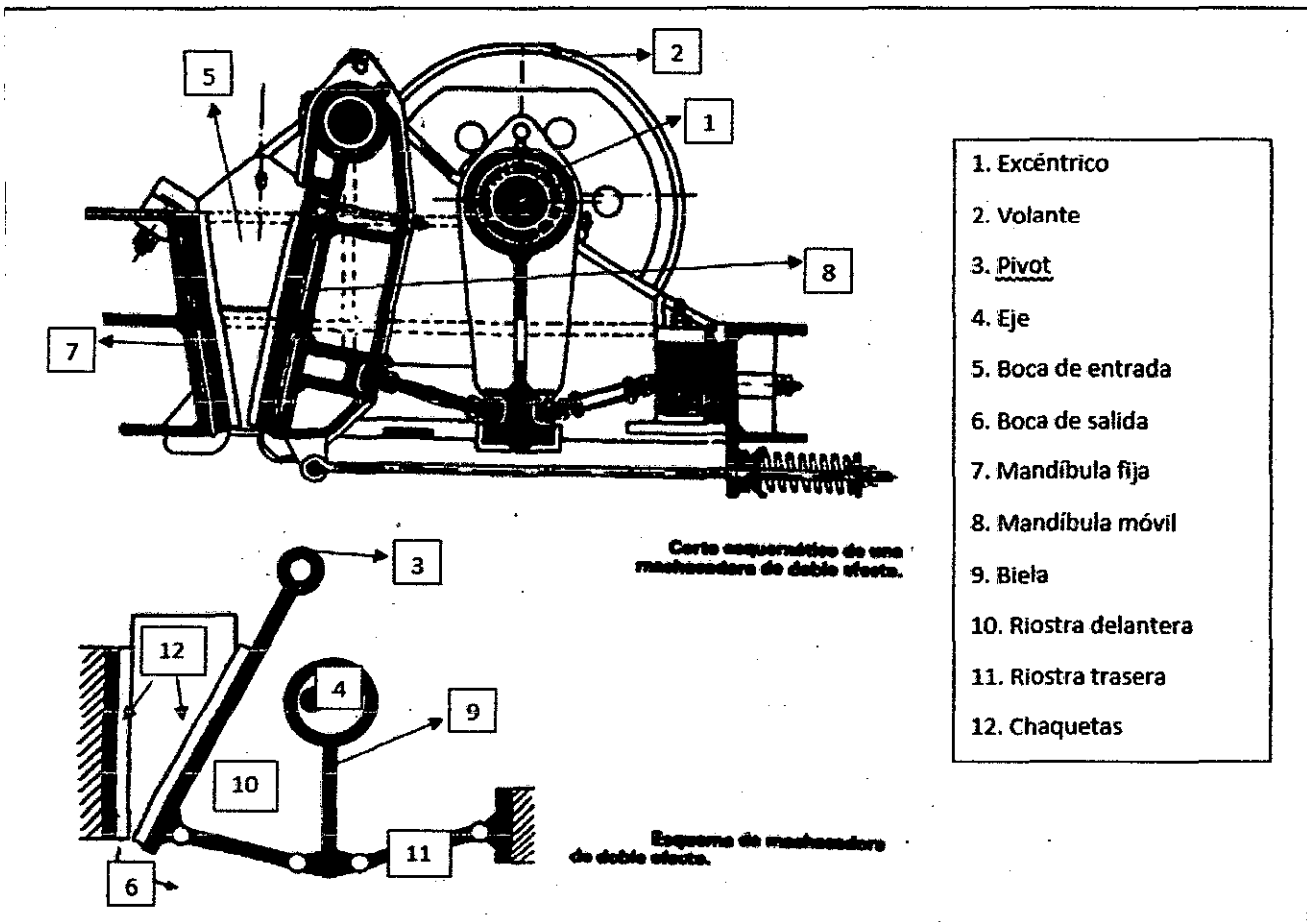
Las trituradoras de mandíbulas son de construcción relativamente sencilla, tiene un bajo coste de mantenimiento y existen en el mercado en unidades de gran tamaño. Se han desarrollado diversos tipos de trituradoras de mandíbulas, sin embargo de todos ellos solo han prevalecido, de modo general, dos tipos:

-Trituradoras de doble palanca acodada (TRITURADORA BLAKE)

-Trituradoras con una palanca acodada simple (TRITURADORA OSCILANTE).

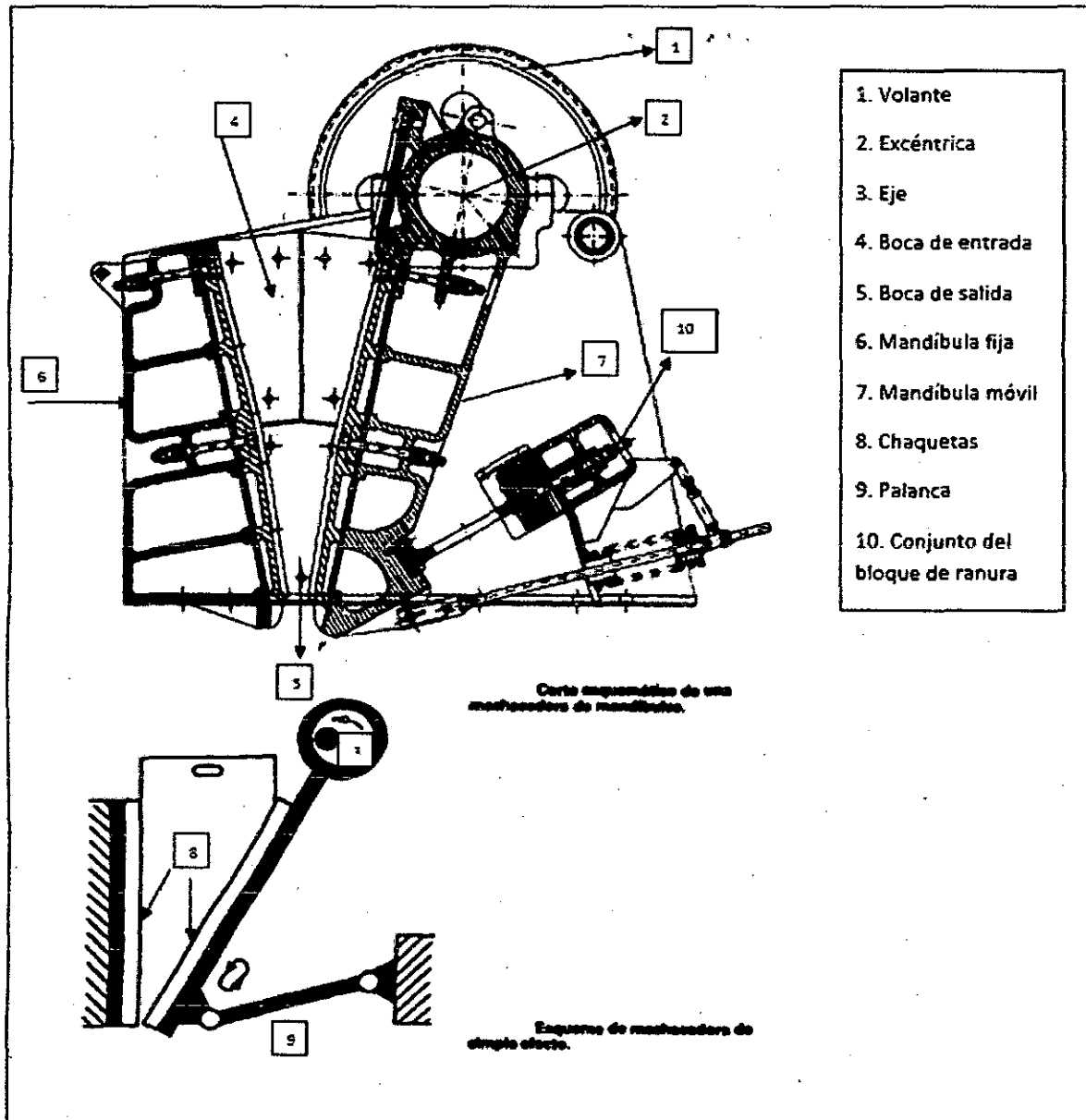
En la figura N° 13 se puede ver a la trituradora Blake, que es de tipo de mandíbula móvil en la cual realiza un movimiento de vaivén u oscilante (atrás-delante), que ejerce, principalmente, un esfuerzo de compresión sobre el material.

FIGURA 13
TRITURADORA DE MANDÍBULAS DE DOBLE PALANCA ACODADA (TRITURADORA BLAKE)



En la siguiente figura N° 14 se muestra la trituradora oscilante, aparte del movimiento de la trituradora Blake, tiene también un movimiento de abajo-arriba, de donde resultan los esfuerzos combinados de compresión-fricción.

FIGURA 14
TRITURADORA DE MANDÍBULAS DE SIMPLE EFECTO



Habitualmente, las fuerzas susceptibles de romper un sólido pueden ser de: tracción, compresión, flexión, torsión, cizallamiento y choque. Entre estas, únicamente las de tracción y torsión, no intervienen en las fragmentaciones industriales.

Los grandes bloques necesitan fuerzas considerables para ser rotos, y así con frecuencia dichas fuerzas son obtenidas bajo forma de presiones elevadas, con ayuda de un sistema de palancas. Las trituradoras de mandíbulas y las giratorias trabajan según este principio. Las trituradoras del primer tipo son adecuadas para fragmentar rocas duras e incluso muy duras con alimentación en trozos de gran tamaño, mientras que las segundas lo son para rocas de dureza media y de tamaños relativamente pequeños, ya que con rocas duras y abrasivas de produciría un desgaste muy elevado de las mandíbulas debido al movimiento de arriba-abajo. Además la gran amplitud de movimiento a la entrada de la cámara de trituración trae consigo choques y esfuerzos importantes sobre las mandíbulas que deben de ser soportados por los rodamientos de la excéntrica, por tanto, las posibilidades de este tipo de trituradoras son limitadas, sobre todo con materiales muy resistentes.

El desmenuzamiento del material (Reducción de tamaño) se desarrolla entre dos mandíbulas, una fija y una móvil, debido a los esfuerzos anteriormente mencionados. Las mandíbulas pueden ser de diversas formas, de lo cual depende la capacidad del recinto de trituración, y están revestidas con blindajes (de fundición a la coquilla o de acero con el 12-14 % de Mn) de perfil liso o dentado en el sentido longitudinal. El uso de mandíbulas acanaladas permite evitar el paso de los trozos planos y obtener un producto más equiáxico. Sin embargo, el dentado se desgasta muy rápidamente con los materiales abrasivos.

5.1.1.10.- Diseño y cálculo de una trituradora de mandíbula:

1.- Velocidad angular, número de vueltas en la unidad de tiempo: La velocidad angular, medida por el número de vueltas, determina su caudal, junto con el tamaño del triturador de mandíbulas. Sin embargo, el número de vueltas no debe ser demasiado alto, pues la experiencia demuestra que, rebasado cierto límite, con el aumento del número de vueltas no se produce aumento perceptible del caudal.

El movimiento de vaivén de la mandíbula móvil se ha de medir de modo tal, que el material desmenuzado tenga tiempo de abandonar el triturador por la abertura. La fórmula para la determinación del número de vueltas del triturador de mandíbulas es:

$$n = 600 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{s}} \quad (5.1)$$

n = Número de vueltas por minuto

α = Angulo de las mandíbulas en grados

s = Longitud del camino de la mandíbula móvil en cm

Por consideración del rozamiento entre el material en trituración y las placas de trabajo, los fabricantes recomiendan que no se rebase el límite superior de 170 vueltas/min.

Se toma en cuenta el α 20° y se toma normalmente la longitud de camino de la mandíbula móvil de 5 cm; entonces el número de vueltas por minuto será:

$$n = 600 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{s}}$$

$$n = 600 \sqrt{\frac{\tan 20^\circ}{5}} = 161.88 \text{ vueltas / minuto}$$

$$n = 162 \text{ vueltas / minuto}$$

2.- Capacidad de producción: Taggart desarrolló una fórmula práctica para determinar la capacidad de producción de los trituradores de mandíbulas, cuya expresión es:

$$Q = 0.093 * b * d \quad (5.2)$$

En la que:

Q = Capacidad en Kg/h

b = Ancho de la mandíbula, cm.

D = Tamaño del material de alimentación, en cm

Se toma como base de ancho de la mandíbula 1.2 m, el tamaño del material de alimentación que en este caso es la piedra caliza varía de 150-200 cm; entonces la capacidad de producción de la trituradora será:

$$d = \frac{150 + 200}{2} = 175 \text{ cm}$$

$$b = 1.2\text{m} * \frac{100 \text{ cm}}{1\text{m}} = 120 \text{ cm}$$

$$Q = 0.093 * b * d$$

$$Q = 0.093 * 120 * 175$$

$$Q = 1953 \text{ Kg/h}$$

3.- Energía para el accionamiento: La energía para el accionamiento de los trituradores de mandíbulas se calcula como sigue:

Según la fórmula de Virad:

$$N = 0.0155 * b * D \quad (5.3)$$

Siendo:

N = Potencia del motor para el triturador de mandíbulas, en CV

b = Ancho de la mandíbula triturante, en cm

D = Dimensión máxima del material de alimentación, en cm

Aplicando la formula (5.3) la potencia será:

$$N = 0.0155 * 120 * 200$$

$$N = 372 \text{ cv}$$

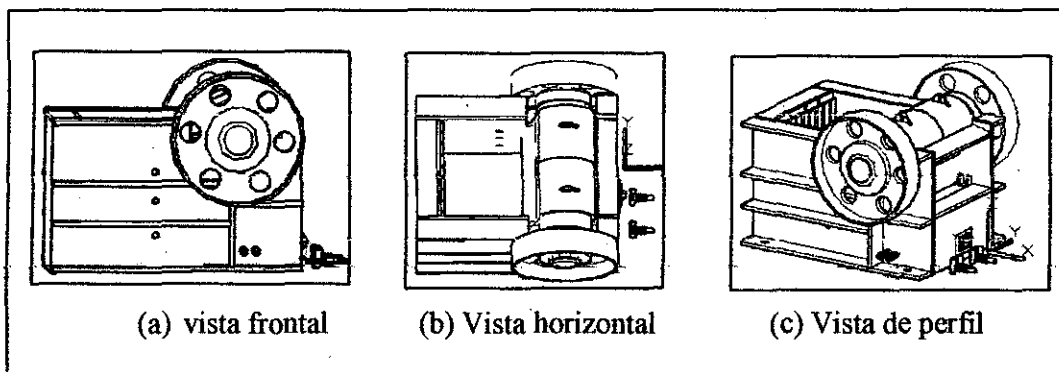
$$N = 372\text{cv} * \frac{0.736 \text{ KW}}{1\text{cv}} = 273.79 \text{ KW}$$

Se asume que la trituradora operará las 22 horas del día; entonces:

$$\frac{41 \text{ KW}}{22 \text{ h}} = 12.45 \text{ KW/h}$$

Para mayor seguridad, se elige un motor con 10-15 % de aumento de potencia, para salvar las irregularidades posibles en la magnitud de la alimentación.

FIGURA 15
VISTAS DE LA TRITURADORA DE MANDIBULA



5.1.2.- Diseño y cálculo de un molino de bolas para arcilla y cemento hidráulico:

5.1.2.1.- Fundamento teórico: La molienda es la última etapa del proceso de conminución, en esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión, ya sea en seco o como una suspensión en agua, también llamado pulpa. La molienda se realiza en molinos de forma cilíndrica que giran alrededor de su eje horizontal y que contienen una carga de cuerpos sueltos de molienda conocidos como “medios de molienda”, los cuales están libres para moverse a medida que el molino gira produciendo la conminución de las partículas de mena.

El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto y, por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil.

Por supuesto, una sub-molienda de la mena resultará en un producto que es demasiado grueso, con un grado de liberación demasiado bajo para separación económica obteniéndose una recuperación y una razón de enriquecimiento bajo en la etapa de concentración. Sobre-molienda innecesaria reduce el tamaño de partícula del constituyente mayoritario, generalmente la ganga y puede reducir el tamaño de partícula del componente minoritario, generalmente el mineral valioso, bajo el tamaño requerido para la separación más eficiente. Además se pierde mucha energía, que es cara, en el proceso. Es importante destacar que la molienda es la operación más intensiva en energía del procesamiento del mineral.

5.1.2.2.- Movimiento de la carga en molinos: Una característica distintiva de los molinos rotatorios es el uso de cuerpos de molienda que son grandes y pesados con relación a las partículas de mena pero pequeñas con relación al volumen del molino, y que ocupan menos de la mitad del volumen del molino.

Cuando el molino gira, los medios de la molienda son elevados en el lado ascendente del molino hasta que se logra una situación de equilibrio dinámico donde los cuerpos de molienda caen en cascada y en catarata sobre la superficie libre de los otros cuerpos, alrededor de una zona muerta donde ocurre poco movimiento hasta el "pie" de la carga del molino. Se puede distinguir tres tipos de movimiento de los medios de molienda en un molino rotatorio:

- a) Rotación alrededor de su propio eje.
- b) Caída en cascada, donde los medios bajan rodando por la superficie de los otros cuerpos.
- c) Caída en catarata que corresponde a la caída libre de los medios de molienda sobre el "pie" de la carga.

La magnitud del elevamiento que sufren los medios de molienda depende de la velocidad de rotación del molino y del tipo de revestimiento del molino. A

velocidades relativamente bajas o con revestimientos lisos, los medios de molienda tienden a rodar hacia el pie del molino y la conminución que ocurre es principalmente abrasiva.

Esta caída en cascada produce molienda más fina, con gran producción de polvo y aumento del desgaste del revestimiento. A velocidades mayores los cuerpos de molienda son proyectados sobre la carga para describir una serie de parábolas antes de aterrizar en el “pie” de la carga. Esta caída en catarata produce conminución por impacto y un producto más grueso con menos desgaste del revestimiento.

La velocidad crítica del molino, es la velocidad mínima a la cual la capa exterior de medios de molienda se adhiere a la superficie interior del cilindro debido a la fuerza centrífuga. A esta velocidad, la fuerza centrífuga es justo balanceada por el peso de los medios de molienda. Normalmente el rango de trabajo es entre 70 a 80% de la velocidad crítica.

Estructuralmente, cada tipo de molino consiste de un casco cilíndrico, con revestimientos renovables y una carga de medios de molienda. El tambor es soportado en muñones huecos fijos a las paredes laterales de modo que puede girar en torno a su eje. El diámetro del molino, determina la presión que puede ejercer el medio en las partículas de mena y, en general, mientras mayor es el tamaño de la alimentación mayor necesita ser el diámetro. La longitud del molino, junto con el diámetro, determina el volumen y por consiguiente la capacidad del molino.

La mena normalmente se alimenta continuamente al molino a través del muñón de un extremo, y el producto molido sale por el otro muñón.

5.1.2.3.- Partes principales de un molino:

5.1.2.3.1.- Casco: El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada, y está construido de placas de acero forjadas y soldadas. Tiene perforaciones para sacar los pernos que sostienen el

revestimiento o forros. Para conectar las cabezas de los muñones tiene grandes bridas de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco, los cuales tienen perforaciones para apernarse a la cabeza.

5.1.2.3.2.- Extremos: Los extremos del molino, o cabezas de los muñones pueden ser de fierro fundido gris o nodular para diámetros menores de 1m. Cabezas más grandes se construyen de acero fundido, el cual es relativamente liviano y puede soldarse. Las cabezas son nervadas para reforzarlas.

5.1.2.3.3.- Revestimientos: Las caras de trabajo internas del molino consisten de revestimientos renovables que deben soportar impacto, ser resistentes a la abrasión y promover el movimiento más favorable de la carga. Los extremos de los molinos de bolas generalmente tienen nervaduras para levantar la carga con la rotación del molino. Ellos impiden deslizamiento excesivo y aumentan la vida del revestimiento. Generalmente están hechos de fierro fundido blanco aleado con níquel, Ni-duro, y otros materiales resistentes a la abrasión, como goma. Los revestimientos de los muñones son diseñados para cada aplicación y pueden ser cónicos, planos y con espirales de avance o retardo.

Los revestimientos del molino son de un costo importante en la operación del molino y constantemente se está tratando de prolongar su vida. En algunas operaciones serán reemplazados los revestimientos y elevadores por goma. Se ha encontrado que esos son más durables, más fáciles y rápidos de instalar y su uso resulta en una significativa reducción del nivel de ruido. Sin embargo se ha informado que producen un aumento en el desgaste de medios de molienda comparados con los revestimientos Ni-duro. Los revestimientos de goma también pueden tener dificultades en procesos que requieran temperaturas mayores que 80°C.

5.1.2.3.4.- Factores que afectan la eficiencia de molienda: Varios factores afectan la eficiencia del molino de bolas. La densidad de la pulpa de alimentación debería ser lo más alta posible, pero garantizado un flujo fácil a través del molino. Es esencial que las bolas estén cubiertas con una capa de mena; una pulpa demasiado diluida aumenta el contacto metal-metal, aumentando el consumo de acero y disminuyendo la eficiencia. El rango de operación normal de los molinos de bolas es entre 65 a 80% de sólidos en peso, dependiendo de la mena. La viscosidad de la pulpa aumenta con la fineza de las partículas, por lo tanto, los circuitos de molienda fina pueden necesitar densidad de pulpa menor.

La eficiencia de la molienda depende del área superficial del medio de molienda. Luego las bolas deberían ser lo más pequeñas posibles y la carga debería ser distribuida de modo tal que las bolas más grandes sean justo lo suficientemente pesadas para moler la partícula más grande y más dura de la alimentación. Una carga balanceada consistirá de un amplio rango de tamaños de bolas y las bolas nuevas agregadas al molino generalmente son del tamaño más grande requerido. Las bolas muy pequeñas dejan el molino junto con la mena molida y pueden separarse haciendo pasar la descarga por harneros.

5.1.2.3.5.- Volumen de llenado del molino: El volumen o nivel de la carga de bolas está relacionado con la dureza del mineral y tonelaje de alimentación que puede tratar el molino para un mismo grado de molienda. Por ejemplo, un aumento del tonelaje a tratar involucra un menor tiempo de residencia, lo que se compensa con una mayor carga de bolas, a fin de aumentar la probabilidad de contacto entre bolas y mineral. Lo mismo sucede frente a un mineral que presenta una mayor dureza.

5.1.2.3.6.- Eficiencias del molino: Los factores de control que se sabe regulan la eficiencia de molienda de minerales, en molinos cilíndricos son como sigue:

1. La velocidad del molino afecta la capacidad, al igual que el desgaste del recubrimiento y de las bolas, en una proporción directa hasta del 85% de la velocidad crítica.
2. La carga de bolas equivalente al 50% del volumen del molino, da la capacidad máxima.
3. Las bolas de tamaño mínimo capaces de moler el material alimentado, dan una eficiencia máxima.
4. Los recubrimientos ranurados de tipo ondulado son los preferidos entre los usuarios.
5. La eficiencia del clasificador se hace más importante en molienda de varias etapas.
6. Las cargas circulantes de mayor tamaño tienden a aumentar la producción y reducir la cantidad de material fino no deseable.
7. Las razones de sólidos a líquidos en el molino deben estudiarse basándose en la densidad del mineral y la relación volumétrica.

5.1.2.3.7.- Capacidad y consumo de energía: Un método para determinar el tamaño adecuado del molino se basa en la observación de que el volumen de molienda depende de la cantidad de energía consumida, suponiendo que existe una práctica de operación aceptable comparable en cada caso. La energía aplicada a un molino de bolas se determina primordialmente de acuerdo con el tamaño del mismo y la carga de las bolas.

5.1.2.4.- Diseño y cálculo del molino de bolas:

1.- **Velocidad de rotación crítica:** Este valor es la velocidad de rotación crítica, en número de vueltas por minuto, para la cual las bolas no realizan ningún trabajo útil. El número de vueltas por minuto, que en la práctica se aplica de modo general, está comprendido entre el 65-90% de la velocidad crítica. La fórmula práctica es:

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}} \quad (5.4)$$

No hay ninguna fórmula universal para determinar el número de vueltas correcto.

Esta fórmula es aplicable para molinos con diámetro $> 1.7\text{m}$. La fórmula de Taggart es:

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}} - 3(D - 1.7) \quad (5.5)$$

A) Para la molienda de la arcilla: Se toma como base $D=0.9\text{m}$ y $L=1.8\text{m}$

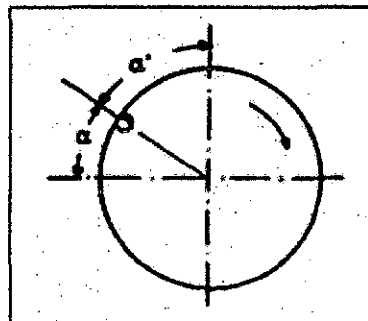
$$n = \frac{32}{\sqrt{0.9}} = 33.7 \text{ vueltas/segundo}$$

B) Para la molienda del cemento hidráulico: Se toma como base $D= 1.5\text{m}$ y $L= 3\text{m}$

$$n = \frac{32}{\sqrt{1.5}} = 28.6 \text{ vueltas/segundo}$$

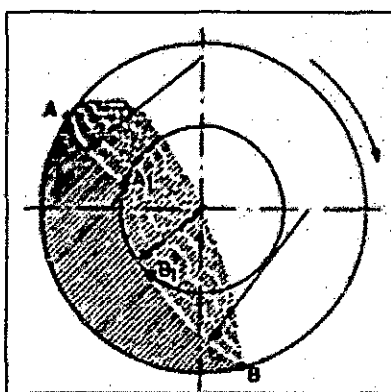
2.- Angulo de elevación de las bolas de molienda: Cálculos teóricos muestran que la energía cinética de las bolas que caen es máxima si el ángulo de elevación de los cuerpos moledores, $\alpha = 35^\circ 20'$. A veces, al ángulo de elevación se le designa con α' ; en este caso su valor es $54^\circ 40'$. Este valor es válido para la velocidad de rotación = 76% de la velocidad de rotación crítica.

FIGURA 16
ANGULO DE ELEVACION ÓPTIMO DE LOS CUERPOS MOLEDORES



3.- Distribución de los cuerpos moledores en la sección del molino: En la figura N° 17, se muestra la distribución de los cuerpos moledores en la sección del molino durante el proceso de molienda. La superficie rayada con líneas continuas muestra las bolas, que serán elevadas por el giro del molino, mientras que la superficie rayada con líneas de trazo representan las bolas que caen, para un ángulo de elevación de aproximadamente $\alpha' = 54^{\circ}40'$. Simultáneamente están siendo elevadas, en números redondos, el 54% de las bolas y cayendo el 46%.

FIGURA 17
DISTRIBUCION DE LOS CUERPOS MOLEDORES EN LA SECCION DEL
MOLINO



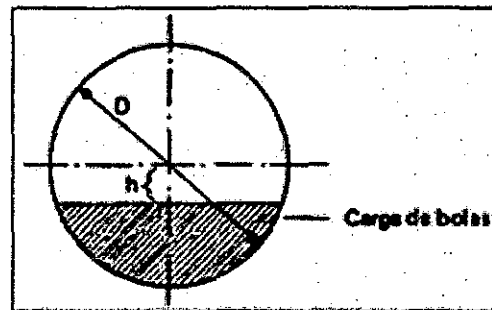
4.- Número de choques de las bolas por vuelta: Investigación exhaustivas han demostrado que, durante una vuelta del molino, las bolas realizan ciclos de trabajo que varían entre 1.79 hasta 2.85.

5.- Número de choques de las bolas contra el material: Joisel desarrolló una fórmula para calcular el número de choques que recibe un grano de material sometido a molienda. Según ella, el material que se está moliendo, en un molino de 2m de diámetro x 10m de largo, permanece en el molino durante 30 minutos. El número de choques que recibe la partícula durante ese tiempo, Joisel lo estima en 6 choques de bola. Esto se debe a que, en el molino, las bolas chocan a menudo entre sí en lugar de hacerlo contra los granos de material.

Rebinder afirma que, en el molino, sólo una milésima de los choques de bolas realiza trabajo de desmenuzamiento; el resto de sus choques son movimiento vacío.

6.- Llenado de bolas en los molinos: Según *L. B. Lewenson* el llenado óptimo de los molinos debe ser tal que $h=0.16D$

FIGURA 18
LLENADO DE CUERPOS MOLEDORES SEGÚN LEWENSON



El grado de llenado de los molinos es la relación entre el volumen del apilamiento de las bolas, y el volumen de trabajo del molino. El grado de llenado varía entre el 25% y el 45%. Por debajo del 25% de llenado, los cuerpos moleadores se deslizan sobre el blindaje del molino; por encima del 45% de llenado se originan dificultades en las trayectorias de caída de los cuerpos moleadores.

Grados de llenado habituales:

- Para bolas de acero 28-45 %
- Para cylpebs 25-33 %

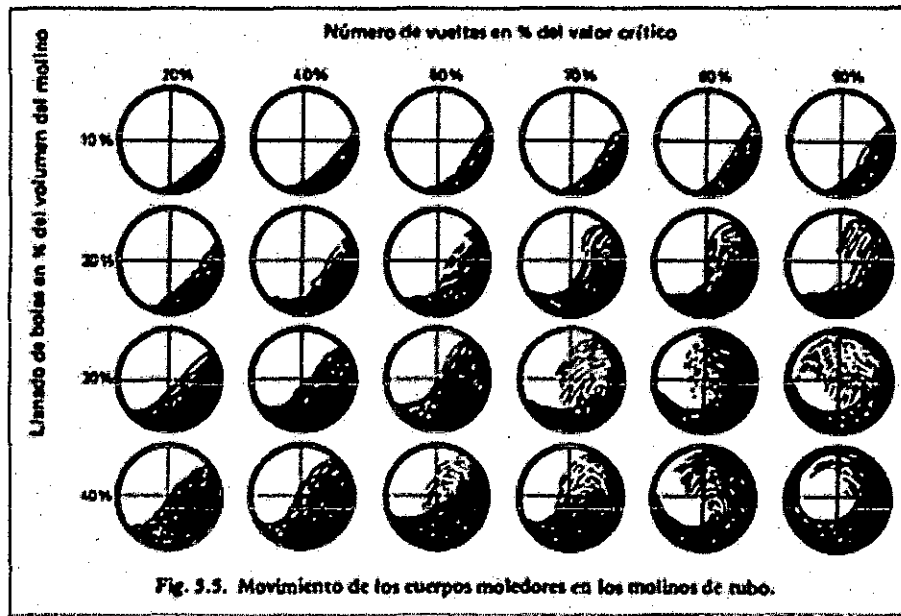
Para molinos de tres cámaras son usuales los grados de llenado:

- Para la cámara I 30 %
- Para la cámara II 27%
- Para la cámara III 24 %

En la figura N° 19, se muestra el movimiento de los cuerpos moleadores en los molinos de tubos para distintas velocidades y diferentes grados de llenado. La

representación muestra que, en general, para grados de llenado pequeños, sólo para velocidades de 60-70% de la velocidad crítica, se logra un movimiento con lanzamiento de bolas y con ello una intensa acción demolidora por los cuerpos molturadores, mientras que para grados de llenado altos, los cuerpos moledores realizan un trabajo de rozamiento más intenso.

FIGURA 19
MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS MOLEDORES EN LOS MOLINOS DE TUBO



7.- Carga total de cuerpos moledores: Para cálculos más exactos se ha de multiplicar el volumen útil del molino por el correspondiente grado de llenado Ψ de las bolas en el apilamiento; con ello se obtiene el volumen V_m del montón que ocupan las bolas.

$$V_m = \Psi * V = \Psi * \frac{\pi * D^2 * L}{4} \quad (5.6)$$

D= diámetro interior del molino,

L= longitud del molino

Multiplicándolo por el peso específico aparente del montón, g_m , se obtiene el peso de la carga de cuerpos moleadores.

$$G = g_m * V_m = g_m * \Psi * \frac{\pi * D^2 * L}{4} \quad (5.7)$$

El peso del metro cúbico de apilamiento de bolas es, aproximadamente, 4.55t y varía muy poco con el diámetro de las bolas; el peso específico es 7.8-7.9t/m³.

A) Para la molienda de la arcilla:

$$G = g_m * V_m = g_m * \Psi * \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

$$G = 7.85 * 0.57 * \frac{3.14 * 0.9^2 * 1.8}{4}$$

$$G = 5.12 \text{ t}$$

B) Para la molienda del cemento hidráulico:

$$G = g_m * V_m = g_m * \Psi * \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

$$G = 7.85 * 0.81 * \frac{3.14 * 1.5^2 * 3}{4}$$

$$G = 33.69 \text{ t}$$

8.- Indicaciones para el llenado de los molinos: Para aprovechar mejor los huecos entre las bolas, éstas son de distintos tamaños, tanto en molinos de varias cámaras como en los de una sola. Se recomiendan los tamaños de bolas descritos en la Tabla N° 26.

TABLA 26
TAMAÑOS DE BOLAS

Cámara de molino N°	Diámetro de las bolas	Llenado de la cámara % en peso
1	110-60 mm	30 %
2	60-35 mm	27 %
3	30-20 mm	24 %

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

En la primera cámara, la fracción de bolas con 100-110 mm Ø puede llegar al 25-30% del peso de los cuerpos moledores. La segunda cámara, en donde el trabajo se realiza por choque y rozamiento, cabe asignarle carga en fracciones equivalentes de bolas con 60, 50 y 35 mm Ø.

Para la tercera cámara, que desmenuza en su mayor parte por rozamiento, resultan apropiadas las bolas de los tamaños indicados o cylpebs. Los cylpebs son trozos de acero de 10 a 26 mm de Ø, en los que la longitud más favorable es igual al doble de su diámetro; $L=2D$.

Si se muele a circuito abierto, la superficie específica del material molido depende de la relación entre la superficie de los cuerpos de molienda y su volumen (de modo principal en la tercera cámara). Para obtener una gran superficie en el material molido, se han de utilizar cuerpos moledores cuya relación entre sus magnitudes $\frac{S \text{ (superficie)}}{V \text{ (volumen)}}$, tenga un valor alto. En esto se fundamenta que en la tercera cámara de molienda se empleen cylpebs en lugar de bolas; las bolas, como es sabido, ofrecen para volumen máximo la superficie más pequeña.

Steiner ha expresado la relación entre el diámetro de los cuerpos moledores y el tamaño de la partícula del material que se ha de moler en las dos representaciones gráficas que se insertan. Las curvas y rectas de las representaciones significan: I, material duro; II, material de dureza media; III, material blando

9.- Llenado de cuerpos moledores y de material que se ha de moler: Para la máxima utilización de la energía, la relación de la carga de cuerpos moledores a

la de material que se ha de moler debe estar coordinada entre sí y ciertamente teniendo en cuenta la finura de molienda; esa relación ha de ser cuanto mayor sea la finura del material molido. Si se ha de lograr una finura que corresponda a un cemento corriente (aproximadamente 3200 Blaine) con el máximo aprovechamiento simultáneo de la energía de molienda, la relación del llenado de bolas al llenado de Clinker, ha de ser igual o mayor que 15. *Mardulier* llama al cociente de la carga de bolas, por la carga de Clinker relación $S_{(acero)}:C_{(Clinker)}$, y recomienda que el valor óptimo de la relación de $\frac{S}{C}$ debe estar comprendido entre 8.1 y 10.1 para alcanzar la máxima superficie en el cemento por unidad de energía consumida. También *Scherer* da un ejemplo en que la relación de S:C es 8.75 (70 toneladas de cuerpos moledores y 8 toneladas de material que se ha de moler).

10.- Llenado del molino con cuerpos moledores: Hay que calcular el llenado de elementos moledores en un molino de tres cámaras, para molienda, de crudo para cemento. El material es de dureza media, con un tamaño de grano máximo de 25 mm. Las dimensiones del molino son:

A) Para molienda de la arcilla:

Diámetro interior del recinto de molienda = 90 cm

Longitud del cilindro = 180 cm de lo que no se tomará en cuenta los dos diafragmas.

Las longitudes de las cámaras individualizadas son:

Cámara I : $L_1 = 180 * 0.50 = 90 \text{ cm} = 0.9 \text{ m}$

Cámara II : $L_2 = 180 * 0.50 = 90 \text{ cm} = 0.9 \text{ m}$

Los volúmenes correspondientes son:

Cámara I : $V_1 = \frac{3.14 * 0.9^2}{4} * 0.9 = 0.57 \text{ m}^3$

Cámara II : $V_2 = \frac{3.14 * 0.9^2}{4} * 0.9 = 0.57 \text{ m}^3$

Volumen de trabajo del molino = 1.14 m^3

Aplicando los grados de llenado dados anteriormente, el volumen aparente del apilamiento de bolas en cada una de las cámaras:

Cámara I : $0.57 * 0.30 = 0.17 \text{ m}^3$

Cámara II : $0.57 * 0.27 = 0.15 \text{ m}^3$

La densidad aparente es: para las bolas, 4.55 t/m^3 (cámaras I y II).

Cámara I : $0.17 \text{ m}^3 * 4.55 = 0.77 \text{ t}$

Cámara II : $0.15 \text{ m}^3 * 4.55 = 0.68 \text{ t}$

Peso total de cuerpos moledores: 0.078 t

Las bolas, por tamaños, podrían estar distribuidas en las dos cámaras como sigue en la siguiente tabla:

TABLA 27
DISTRIBUCION DE LAS BOLAS EN LAS DOS CAMARAS

Cámara N°	Bolas Ø mm	Distribución en %
I	70	20
	65	35
	60	25
II	50	50
	40	50

*Fuente: Autor

Una determinada dimensión de bolas puede desmenuzar materiales dentro de un margen bastante amplio para su granulometría, sin que influya de modo esencial el caudal del molino. Sin embargo, una

desviación importante del tamaño óptimo de las bolas merma la eficiencia del molino. Bolas demasiado pequeñas suponen granos sobredimensionados en el producto, bolas demasiado gruesas originan superficies específicas demasiado pequeñas.

B) Para molienda del cemento hidráulico:

Diámetro interior del recinto de molienda = 1.5 m

Longitud del cilindro = 3.0 m de los que, restando dos diafragmas separadores de cámaras ($2 \times 0.30 = 0.60$ m), queda como longitud útil de molienda 2.4 m.

Las longitudes de las cámaras individualizadas son:

$$\text{Cámara I} : L_1 = 0.25 \times 2.4 = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Cámara II} : L_2 = 0.25 \times 2.4 = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Cámara III} : L_3 = 0.50 \times 2.4 = 1.2 \text{ m}$$

Los volúmenes correspondientes son:

$$\text{Cámara I} : V_1 = \frac{3.14 \times 1.5^2}{4} \times 0.6 = 1.06 \text{ m}^3$$

$$\text{Cámara II} : V_2 = \frac{3.14 \times 1.5^2}{4} \times 0.6 = 1.06 \text{ m}^3$$

$$\text{Cámara III} : V_3 = \frac{3.14 \times 1.5^2}{4} \times 1.2 = 2.12 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de trabajo del molino} = 4.24 \text{ m}^3$$

Aplicando los grados de llenado dados anteriormente, el volumen aparente del apilamiento de bolas en cada una de las cámaras:

$$\text{Cámara I} : V_1 = 1.06 \times 0.30 = 0.32 \text{ m}^3$$

$$\text{Cámara II} : V_2 = 1.06 \times 0.27 = 0.29 \text{ m}^3$$

$$\text{Cámara III} : V_3 = 2.12 \times 0.24 = 0.51 \text{ m}^3$$

La densidad aparente es: para las bolas, 4.55 t/m^3 (cámaras I y II) y para los cylpebs 4.85 t/m^3 (cámara III). Por tanto, el peso de las bolas es:

$$\text{Cámara I : } 0.32 \text{ m}^3 * 4.55 = 1.46 \text{ t}$$

$$\text{Cámara II : } 0.29 \text{ m}^3 * 4.55 = 1.32 \text{ t}$$

$$\text{Cámara III : } 0.51 \text{ m}^3 * 4.85 = 2.47 \text{ t}$$

$$\text{Peso total de cuerpos moledores: } 5.25 \text{ t}$$

Las bolas, por tamaños, podrían estar distribuidas en las tres cámaras como sigue en la siguiente tabla.

TABLA 28
DISTRIBUCION DE LAS BOLAS EN LAS TRES CAMARAS

Cámara N°	Bolas Ø mm	Distribución en %
I	90	20
	80	25
	70	35
	60	20
II	50	50
	40	50
III	Cylpebs 12 x 24	50
	Cylpebs 18 x 36	50

*Fuente: Autor

Una determinada dimensión de bolas puede desmenuzar materiales dentro de un margen bastante amplio para su granulometría, sin que influya de modo esencial el caudal del molino. Sin embargo, una desviación importante del tamaño óptimo de las bolas merma la eficiencia del molino. Bolas demasiado pequeñas suponen granos sobredimensionados en el producto, bolas demasiado gruesas originan superficies específicas demasiado pequeñas.

11.- Fórmulas para el tamaño de las bolas de molturación: Cálculo del tamaño máximo de las bolas de acuerdo con la fórmula de Bond:

$$B = \left(\frac{F}{K}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{S \cdot W_i}{C_s \cdot \sqrt{D}}\right)^{1/3} \quad (5.8)$$

12.- Índice del trabajo de molienda según Bond: El índice de trabajo de molienda (W_i) según Bond, para los materiales que se citan, en la tabla N° 29.

TABLA 29
INDICE DE TRABAJO SEGÚN LA COMPOSICION DEL CEMENTO

Material	Peso esp.	Índice de trabajo
Bauxita	2.38	9.45
Clinker de cemento	3.09	13.49
Crudo para cemento	2.67	10.57
Arcilla	2.23	7.10
Arcilla calcinada	2.32	7.43
Carbón	1.63	11.37
Dolomita	2.62	11.31
Yeso natural	2.69	8.16
Caliza (para cemento)	2.68	10.18
Magnesita (calcinada a muerte)	5.22	16.80
Arenisca	2.68	11.53
Escorias de hogar	2.93	15.76
Escorias de horno alto	2.39	12.16

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

El índice de trabajo (W_i) da los kWh que hay que aplicar para desmenuzar una tonelada (tonelada corta=907 Kg) de material de tamaño de grano teóricamente ilimitado, hasta que el 80% del mismo pase por el tamiz de 0.10 mm. El índice de trabajo es válido para molinos de bolas que trabajen en circuito cerrado por vía húmeda.

Para molienda vía seca, en circuito cerrado, el valor (W_i) obtenido para el trabajo consumido, calculado por la III ecuación básica de la teoría de Bond, se ha de multiplicar por 1.30.

13.- Índice de molturabilidad de Hardgrove: El índice de molturabilidad de Hardgrove de diversos materiales (con índice creciente aumenta la molturabilidad, es decir, el material es más fácil de moler).

El índice de molturabilidad de Hardgrove (H_g) se puede transformar en el índice del trabajo de molienda de Bond W_i mediante la fórmula siguiente:

$$W_i = \frac{435}{H_g^{0.91}} \left(\text{kWh/shrt ton ; } 1 \text{ t} = 907 \text{ Kg} \right) \quad (5.9)$$

Los coeficientes de molturabilidad que aquí se toman en consideración, según Bond Towarow, Hardgrove, etc., son el resultado de ensayos de molienda efectuados con molinos de ensayo especiales. Los molinos de ensayo son de diferentes dimensiones y se llenan con distintos tipos de bolas, de variados pesos. La mayoría de las veces se realiza la molienda hasta cierto número de vueltas o se mide la energía consumida para alcanzar una finura determinada. El resultado obtenido constituye el coeficiente de molturabilidad. Quedaría fuera de lugar describir aquí todos los molinos de ensayo o molinos testigo, así como los métodos aplicados; solamente se citarán los siguientes métodos para la molturabilidad.

- a. Método Lennox
- b. Método Jansey
- c. Método Hertzog
- d. Método Coghill
- e. Método Mackson-Kaden
- f. Método ASTM
- g. Método Allis-Chalmers
- h. Método Papadakis
- i. Método Gross-Zimmerley
- j. Método Ziesel, que es casi el único que se emplea en Alemania.

TABLA 30
INDICE DE MOLTURABILIDAD DE HARDGROVE DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA EL
CEMENTO

Material	Molturabilidad	Material	Molturabilidad
Materias primas para cemento de:		Antracita de:	
Alabama	47	Carbon County, Pa.	30-33
California	79	Schuylkill County, Pa.	33-53
Indiana	78	Carbón bituminoso de:	
Kansas	120	Alabama	72-85
Missouri	93	Colorado	44-47
New Jersey	67	Ohio	57
New York	53-57	Pennsylvania, Allegheny County	58-71
Ohio	58	Feldespatos	43
Oklahoma	63	Mineral de hierro	38
Pennsylvania: Philadelphia	64-95	Fosfato tricálcico	134
Lehigh Valley	64-74	Arena sílica	24-55
Virginia	50-54	Cal	105
Washington	43-79	Caliza	54-78
Arcilla	97	Oxido de hierro	57
Clinker de cemento	30-50	Magnesita	44-64

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

14.- Fórmula de Starke: La fórmula de Starke determina la relación óptima entre el tamaño del material que se ha de moler y el diámetro de las bolas para molienda y expresa que un molino crea nuevas superficies, del modo más eficaz, cuando la relación de:

$$\frac{\text{Diámetro del material que se ha de moler}}{(\text{Diámetro de las bolas})^2} = 600 \times 10^{-8}$$

(Los diámetros expresados en μm)

El valor óptimo de esta relación depende de las propiedades físicas del material que se ha de moler.

Slegten afirma que, en la escala de la molienda grosera, la diversidad de tamaños de las bolas proporciona resultados más favorables que las bolas de tamaño uniforme. Por el contrario, en la molienda fina las bolas del mismo diámetro mejoran los resultados.

15.- Potencia exigida por los molinos:

- I. Para un molino de bolas con el grado de llenado correcto y velocidad de rotación óptima, se puede determinar la potencia exigida mediante la fórmula empírica.

$$P = 12.5 G \quad (5.10)$$

En la cual:

P = Potencia necesaria, en CV

G = Carga de cuerpos moledores, en t

- II. Se obtienen resultados más exactos con la fórmula empírica de Blanc

$$P = c. G. \sqrt{D} \quad (5.11)$$

Donde:

P = Potencia necesaria, en CV.

c = Factor relacionado con los cuerpos moledores y con el grado de llenado
(Véase la tabla N° 31)

G = Carga de bolas, en t

D = Diámetro interior del recinto de molienda, m

- III. De acuerdo con la tercera teoría de Bond para el desmenuzamiento, cuya fórmula fundamental es:

$$W = \frac{10 W_i}{\sqrt{P}} - \frac{10 W_i}{\sqrt{F}} \quad (5.12)$$

En la cual:

W = kWh por tonelada (907) Kg del material

F = Tamaño del material de alimentación cuyo 80% pasa por el tamiz, en μm

P = Diámetro del material terminado, cuyo 80% pasa por el tamiz, en μm

W_i = Índice de trabajo de molienda de Bond

TABLA 31
VALORES DEL FACTOR (FORMULA DE BLANC)

Cuerpos molidores	Grado de llenado del molino				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Bolas gruesas (> 60 mm)	11.9	11.0	9.9	8.5	7.0
Bolas de acero (< 60 mm)	11.3	10.6	9.5	8.2	6.8
Cylpebs	11.1	10.2	9.2	8.0	6.0
Cuerpos molidores - promedio	11.5	10.6	9.53	8.23	6.6

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

A) Para molienda de la arcilla:

$$W = \frac{10 \times 7.1}{\sqrt{40}} - \frac{10 \times 7.1}{\sqrt{250000}} = 11.23 - 0.14 = 11.09 \text{ kWh/t}$$

Producción de la arcilla 0.73 t/h x 11.09 kWh/t = 8.10 kWh x 1.341 = 10.86 HP

B) Para molienda del cemento hidráulico:

$$W = \frac{10 \times 13.49}{\sqrt{10}} - \frac{10 \times 13.49}{\sqrt{40}} = 42.66 - 21.33 = 21.33 \text{ kWh/t}$$

Producción del Clínter del cemento hidráulico 2.24 t/h x 21.33 kWh/t = 47.78 kWh x 1.341 = 64.07 HP

16.- Superficie específica y tamaño de grano (por la ecuación de Bond): En la tabla N° 32 se indica el tamaño de grano aproximado en μm para el 80% de paso al tamiz, el cual corresponde a la superficie específica dada (según Wagner y Blaine); esta tabla también contiene el factor de molienda fina A_f para diversos

tamaños de grano del producto molido. La superficie Wagner se comporta con relación a la Blaine como 1:1.8.

TABLA 32
SUPERFICIE ESPECÍFICA Y TAMAÑO DE GRANO

Superf. esp. según Wagner	Superf. esp. según Blaine	80 % que pasa P. tamaño de grano	Factor de molienda fina
1400	2520	62.4	1.018
1500	2700	53.6	1.040
1600	2880	45.7	1.070
1700	3060	40.7	1.094
1750	3150	37.6	1.113
1800	3240	36.3	1.121
2000	3600	28.2	1.192
2500	4500	18.0	1.373
3000	5400	12.0	1.623

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

17.- Caudal de los molinos de bolas: Tabla N° 33 según Towarow, la fórmula que dedujo para calcular el caudal de los molinos de bolas es:

$$Q = q \times \frac{a \times b \times c}{1000} \times 6.7 \times V \times \sqrt{D} \times \sqrt{\frac{G}{V}} \quad (5.13)$$

En la cual:

Q = Caudal del molino, en toneladas (métricas) por hora

q= Caudal específico del molino, en Kg de material de alimentación por kWh de consumo de energía, con un 10% de residuo al tamiz de 4900 mallas/cm²; csc caudal específico se acepta con 40 Kg/KWh

a=Coefficiente de molturabilidad

b=Factor de corrección para molienda fina

c=Factor de corrección por el tipo de molino

V = Volumen del recinto de molienda, en m³

D = Diámetro interior del recinto de molienda, en cm

G = Peso de los cuerpos moledores, en toneladas

El coeficiente de molturabilidad, según Towarow, expresa cuánto se eleva o disminuye el caudal del molino respecto al obtenido moliendo Clinker de horno rotatorio, cuya molturabilidad se iguala a 1.

TABLA 33
COEFICIENTE DE MOLTURABILIDAD (PARA FORMULA DE TOWAROW)

Material	Coeficiente a
Clinker de horno rotatorio	1.00
Clinker de horno vert. automático	1.15-1.25
Escorias de horno alto granuladas	0.55-1.10
Creta	3.70
Arcilla	3.00-3.50
Marga	1.40
Caliza	1.20
Arena sílica	0.6-0.7
Carbón	0.8-1.6

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

El mismo coeficiente de molturabilidad del Clinker de horno rotatorio oscila con su composición mineralógica y depende, ante todo, del contenido en silicato bicálcico, pues cuanto más alto es éste tanto más difícil resulta de moler el Clinker.

En la tabla N° 34 se indican diferentes valores del coeficiente de molturabilidad para Clinker de horno rotatorio, en función del contenido en silicato bicálcico (para la fórmula de towarow).

TABLA 34
VALORES DEL COEFICIENTE DE MOLTURABILIDAD PARA
CLINKER DE HORNO ROTATORIO

Silicato bicalcico en clinker %	Coefficiente de molt, a
5	1.10
10	1.05
15	1.00
20	0.95
25	0.88
30	0.82
35	0.72
40	0.70

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

También el almacenamiento del Clínter influye sobre su molturabilidad. El Clínter recién fabricado es más difícil de moler que el que se ha almacenado durante 2-3 semanas. El tiempo de almacenamiento repercute sobre los coeficientes de molturabilidad, entre los límites de 0.9 a 1.15.

Factor de corrección por finura b, este factor depende del residuo del producto molido sobre el tamiz de 4900 mallas/cm², y se ha establecido como b=1 cuando el residuo es del 10%. En la tabla N° 35 figuran diversos valores para b, en función del residuo al tamiz.

TABLA 35
COEFICIENTE DE CORRECCION b PARA LA FORMULA DE
TOWAROW

% de residuo al tamiz de 4900 mallas/cm ²	Factor de corrección b
2	0.59
3	0.65
4	0.71
5	0.77
6	0.82
7	0.85
8	0.91
9	0.95
10	1.00
11	1.04
12	1.09
13	1.13
14	1.17
15	1.21
16	1.26
17	1.30
18	1.34
19	1.38
20	1.42

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

Factor de corrección c por el tipo de molino (para la fórmula Towarow).

TABLA 36
FACTOR DE CORRECCION c POR EL TIPO DE MOLINO

Circuito del molino	Tipo de molino	Factor de corrección c
Circuito abierto	Molino de varias cámaras (3-4 cámaras)	1.0
	Molino de dos cámaras	0.9
Circuito cerrado	Molino con separador de aire	1.3-1.5

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

A) Para molienda de la arcilla:

Especificaciones de la arcilla:

- Arena silícea = 54.2 %
- Arcilla = 22.7 %

- Marga = 23.1 %
- % de residuo al tamiz de 4900 mallas/cm² es de 5%
- Diámetro interior del molino = 0.90 m
- Largo del molino = 1.8m
- Peso específico aparente de la carga moledora es = 7.85 t/m³
- Grado de llenado de las bolas en el apilamiento es $\Psi = 57\%$

Coefficiente de molturabilidad $a = 0.542 \times 0.65 + 0.227 \times 3.25 + 0.231 \times 1.4$

$$a = 1.41$$

Factor de corrección para molienda en fina $b = 5\% \text{ 4900M}$

$$b = 0.77$$

Factor de corrección por tipo de molino $c =$ para molino de dos cámaras

$$c = 0.9$$

Peso de los cuerpos moledores $G = g_m \cdot \Psi \cdot \frac{\pi D^2 \cdot L}{4}$

$$G = 7.85 \times 0.57 \times \frac{3.14 \times 0.9^2 \times 1.8}{4}$$

$$G = 5.12 \text{ t}$$

Volumen del molino $V = \frac{\pi D^2 \cdot L}{4}$

$$V = \frac{3.14 \times 0.9^2 \times 1.8}{4}$$

$$V = 1.14 \text{ m}^3$$

Entonces el caudal del molino será:

$$Q = q \times \frac{a \times b \times c}{1000} \times 6.7 \times V \times \sqrt{D} \times \sqrt{\frac{G}{V}} \quad (5.13)$$

$$Q = 40 \times \frac{1.41 \times 0.77 \times 0.9}{1000} \times 6.7 \times 1.14 \times \sqrt{0.9} \times \sqrt{\frac{5.12}{1.14}}$$

$$Q = 0.60 \text{ t/h}$$

B) Para molienda del cemento hidráulico:

Especificaciones del cemento hidráulico:

- Ceniza de la cáscara de arroz = 30 %
- Clínter del cemento Portland = 70 %
- % de residuo al tamiz de 4900 mallas/cm² es de 6%
- Diámetro interior del molino = 1.5 m
- Largo del molino = 3.0 m
- Peso específico aparente de la carga moledora es = 7.85 t/m³
- Grado de llenado de las bolas en el apilamiento es $\Psi = 81\%$

Coefficiente de molidurabilidad $a = 0.30 \times 1.2 + 0.70 \times 1$

$$a = 1.06$$

Factor de corrección para molienda en fina $b = 6\% \text{ 4900M}$

$$b = 0.82$$

Factor de corrección por tipo de molino $c =$ para molino de tres cámaras

$$c = 1$$

Peso de los cuerpos moledores $G = g_m \cdot \Psi \cdot \frac{\pi D^2 \cdot L}{4}$

$$G = 7.85 \times 0.81 \times \frac{3.14 \times 1.5^2 \times 3}{4}$$

$$G = 33.69 \text{ t}$$

Volumen del molino V $V = \frac{\pi D^2 L}{4}$

$$V = \frac{3.14 \times 1.5^2 \times 3}{4}$$

$$V = 5.30 \text{ m}^3$$

Entonces el caudal del molino será:

$$Q = q \times \frac{a \times b \times c}{1000} \times 6.7 \times V \times \sqrt{D} \times \sqrt{\frac{G}{V}} \quad (5.13)$$

$$Q = 40 \times \frac{1.06 \times 0.82 \times 1}{1000} \times 6.7 \times 5.30 \times \sqrt{1.5} \times \sqrt{\frac{33.69}{5.30}}$$

$$Q = 3.81 \text{ t/h}$$

18.- Dureza de las bolas para molienda, de acero aleado, forjadas: Promedio de las durezas Brinnel (BHN) y Rockwell (Rc) de las bolas para molienda de los tamaños que se indican y en distintas zonas de las bolas. Microestructura: martensita templada.

FIGURA 20
DUREZA DE LAS BOLAS PARA MOLIENTA EN SUS DIVERSAS BOLLAS

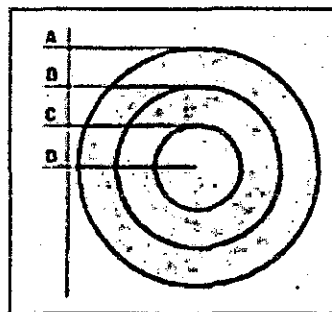


TABLA 37
DIMENSIONES DE LAS DUREZAS DE LAS BOLLAS

Diámetro, pulg.		1 1/8"		2"		2 1/8"		3"		3 1/8"		4"	
Dureza		BHN	Rc	BHN	Rc	BHN	Rc	BHN	Rc	BHN	Rc	BHN	Rc
A		620	58	620	58	607	58	601	57	583	56	583	56
B		620	58	618	58	607	58	601	57	583	56	583	56
C		614	58	614	58	607	58	597	57	580	56	566	55
D		601	57	601	57	601	57	590	57	578	56	555	55

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

19.- Desgaste del material metálico en la molienda: La molienda seca consume, aproximadamente, un 30% más de energía por unidad de peso de material molido y, por consiguiente, la molienda seca exige más volumen de molino que los correspondientes por vía húmeda.

En la molienda seca de las materias primas para cemento se forma una capa protectora de material pulverizado sobre las placas de blindaje y las bolas. Las materias primas para cemento son mucho menos abrasivas que el Clínter para cemento. Desde el punto de vista económico, el desgaste de las placas del blindaje que revisten el interior del molino no es ningún problema grave, puesto que las placas duran tanto tiempo, que la prolongación del trabajo sólo influye de modo insignificante en los costes de molienda.

El desgaste más elevado, en material metálico en la molienda húmeda (bolas y blindaje), cuesta aproximadamente igual que el aumento de coste de la energía en la molienda seca.

Los costes de desgaste de metales en la molienda seca suponen, aproximadamente, un 30-40% de los costes de desgaste en molienda húmeda para igual material.

19.1.- Reacciones mecanoquímicas: En la molienda húmeda, la parte principal del desgaste metálico se produce por disolución del metal en el agua. El agua actúa sobre la superficie metálica limpia de las bolas y las placas. Tales superficies metálicas, recién creadas durante el proceso de molienda, quedan sometidas a la acción corrosiva y disolvente del agua, más intensa y rápidamente que cuando ambos medios están en reposo.

El hierro disuelto en el agua forma hidratos de los óxidos de hierro. Durante la molienda húmeda también se produce hidrógeno gaseoso por descomposición del agua. El agua, con reacción químicamente ácida, posee acción fuertemente disolvente; para un pH del agua <5 esa acción crece rápidamente.

Beke informa también acerca de fenómenos mecanoquímicos en la molienda, especialmente en la de cemento. Se observó que después de una larga duración de molienda, crece el contenido de CO_2 en el producto molido; aunque en el comienzo no se detectara CO_2 alguno, después de dos horas de molienda aparece un 2.70% de CO_2 y tras 20 horas, el 4.6%. Esto significa que se produce carbonatación de la cal.

20.- Desgaste de las bolas para molienda: Para el desgaste de las bolas en molienda seca y húmeda de crudo y para molienda de Clinker para cemento.

TABLA 38
DESGASTE DE LAS BOLAS PARA MOLIENDA

Calidad de las bolas de molienda	Dureza		Molienda vía seca Desgaste	Molienda vía húmeda Desgaste
	Rockwell C	Brinell	g/24 h. 100 cm ² sup. de bola	g/24 h. 100 cm ² sup. de bola
440 C Acero inoxidable	62-64	688-722	-	0.00181
Fundición blanca aleada	55-60	546-613	0.000011	0.00220
Acero carburado por gas 5165	61	670	0.000011	0.00232
Acero carburado 5165	59	599	0.000066	-
5165 Acero	47-51	442-487	0.000181	-
Acero forjado corriente 1095	57-62	575-688	0.000217	0.00243
1060 Acero	63	705	-	0.00243
1095 "	52-60	508-613	0.000237	-
52100 "	63-65	705-739	0.000265	-
1095 "	65-66	739 +	0.000314	-
1095 "	59-60	599-613	0.000356	-
1045 "	58-60	587-613	0.000365	-
Fundición blanca	49-50	464-475	-	0.00314
440 C Acero inoxidable	31-33	294-311	-	0.00336
Acero carburado al gas 5165	24	247	-	0.00399

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

Composición química de las bolas para la molienda de ensayo dada en la tabla
Nº 39

TABLA 39
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS BOLAS PARA LA MOLIENDA

Elemento	%							
	Acero forjado	Acero forjado modificado	Acero forjado	Acero forjado	Acero forjado	Acero forjado inox.	Aleación Cr-Ni Fund.	Fundición pobre en Cr
C	1.01	0.61	0.46	1.01	0.65	1.05	3.11	2.80
P	0.017	0.017	0.015	0.025	0.045	0.030	0.116	0.097
S	0.040	0.051	0.025	0.015	0.029	0.028	0.116	0.112
Si	0.25	0.08	0.19	0.27	0.37	0.34	0.53	0.37
Cr	Trazas	0.08	—	1.45	0.90	17.03	1.45	0.67
Cu	0.07	0.36	—	—	—	—	0.27	0.31
Mn	0.34	0.37	0.65	0.40	1.02	0.48	0.23	0.60
Mo	0.05	< 0.05	—	—	—	0.20	0.07	—
Ni	Trazas	0.11	—	—	—	0.28	3.26	Trazas

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

21.- Material Ni-Hard en la molienda: El Ni-Hard es una función blanca con, aproximadamente, un 2% de cromo y un 4% de níquel y bajo contenido de silicio. El Ni-Hard es resistente al desgaste por deslizamiento, por proyección, o por chorro, sin embargo lo es poco contra el desgaste por choque.

Hay bolas de molienda de Ni-Hard hasta el diámetro máximo de 60 mm a las que hay que suponer cuádruple duración que la de las bolas de acero forjado y endurecido.

Se fabrican dos clases de Ni-Hard:

- Ni-Hard I; material normal para desgaste por rozamiento y por chorro, así como a solicitud a desgaste por choque.
- Ni-Hard II; material con elevada resistencia al choque y a la flexo-tracción.

TABLA 40
COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL NI-HARD

Elemento	Ni-Hard I Peso %	Ni-Hard II Peso %
C total	3.0 - 3.60	máx. 2.90
Si	0.40-0.80	0.40-0.80
Mn	0.30-1.00	0.30-1.00
S	máx. 0.15	máx. 0.15
P	máx. 0.30	máx. 0.30
Ni	3.30-4.80	3.30-5.00
Cr	1.50-2.60	1.40-2.40
Mo	0 - 1.40	0 - 0.40

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

22.- Velocidad lineal de desgaste del acero al cromo-molibdeno/hora de molienda en μm : Bolas para molienda, vía húmeda de pasta de crudo, disminución del diámetro 1 a 4

Bolas de molienda para la de Clinker de cemento, disminución del diámetro 0.1 a 0.4

Para comparación: bolas de molienda, vía húmeda, para moler minerales ricos en cuarzo 4 a 11

22.1.- Desgaste específico: Utilizando materiales normales no aleados se prevé un desgaste específico de alrededor de 1000 g/t de cemento; de éstos, corresponden 850 g/t a los cuerpos moledores y 150 g/t a las placas de blindaje.

22.2.- Mejora del desgaste específico de los cuerpos de molienda: Desde aproximadamente 1955 se ha conseguido rebajar de modo sustancial el desgaste de los cuerpos moledores eligiendo las aleaciones adecuadas. La tabla N° 41 ofrece una visión de la mejora del consumo específico por desgaste de los cuerpos de molienda en los molinos de cemento desde 1958 a 1971, referido al cemento normal.

TABLA 41
MEJORA DEL DESGASTE ESPECÍFICO DE LOS CUERPOS DE MOLIENDA

Mejora del desgaste específico en los cuerpos moleadores de 1958-1971			
	antes 1960	1966	1971
Desgaste del acero normal C-Mn	100 g/t cem. normal	—	—
Desgaste del acero de alta resistencia	—	1000 g/t cem. normal	50 g/t cem. normal
Comparación del coste del desgaste	100%	20%	10%
Ahorro	—	80%	90%

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

22.3.- Desgaste de las bolas para molienda con alta resistencia al desgaste (59 Rc) en molinos de cemento en circuito abierto: Independientemente del contenido de cromo de las bolas para molienda, el desgaste de los cuerpos moleadores es diferente, varía entre 15 y 110 g/t de cemento y depende del distinto tipo de templado de los cuerpos moleadores. En la tabla N° 42 hay un resumen de las cifras de desgaste de cuerpos moleadores de dureza 59 Rc (comparable con 600 BHN) producidos por diversos fabricantes.

TABLA 42
DESGASTE DE LAS BOLAS PARA MOLIENDA CON ALTA RESISTENCIA AL DESGASTE

Desgaste específico de cuerpos moleadores de distintos fabricantes					
Fabricantes de cuerpos moleadores		A	B	C	D
Contenido en cromo	%	12	12	17	12
Tiempo de operación de los cuerpos moleadores	h	3933	3410	5190	4480
Cantidad de cemento molido	10 ³ t	93.6	78.2	119.4	103.1
Desgaste específico de cuerpos moleadores	g/t	65	77	15	110

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

22.4.- Valores del desgaste específico de material no aleado, para molinos de cemento:

TABLA 43
VALORES DEL DESGASTE ESPECIFICO DE MATERIAL NO ALEADO

Proceso de molienda	Kg de cuerpos molidores por t de carbón	Kg de placas de blindaje por t de carbón	Kg de mat. desgastado por t de carbón
Molienda vía seca	0.28	0.07	0.35
Molienda y secado separados	0.11	0.02	0.13

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

22.5.- Valores del desgaste específico de las bolas de acero de elevada dureza en los molinos de cemento:

TABLA 44
VALORES DEL DESGASTE ESPECÍFICO DE LAS BOLAS DE ACERO DE ELEVADA DUREZA

Tipo de material	g/t cemento	g/kWh	Tipo de clinker
Bolas forjadas HB 600	37	3.9	Clinker de vía húmeda
	19	2.1	
	90	8.7	Clinker vía húmeda (varios)
	60	6.0	Clinker de vía húmeda y de Lepol
Bolas fundidas HRc 54, HB 550	40	2.9	Clinker de vía húmeda con escorias
	36	5.3	Clinker ordinario vía húmeda
	50	5.0	Clinker vía húmeda y Lepol

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

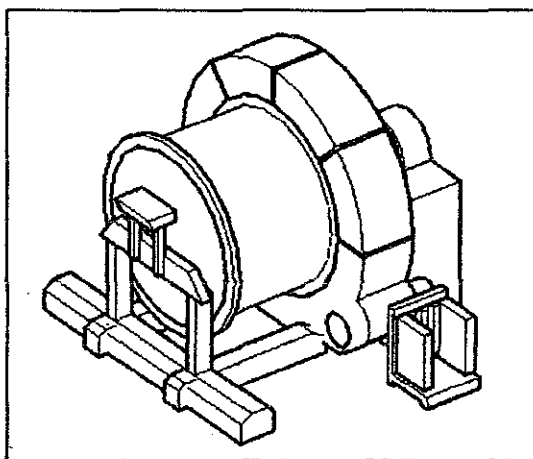
22.6.- Suhrmann: Da los siguientes valores para el desgaste de cuerpos molidores y placas de blindaje en g/kWh.

TABLA 45
DESGASTE DE CUERPOS MOLEDORES Y PLACAS DE BLINDAJE EN
MOLINOS DE TUBO

Material	Desgaste en g/kWh	
	Cuerpos molidores	Placas de blindaje
Materias primas	5-15	1.0-4.0
Carbón	1-10	0.5-2.5
Clinker	20-40	1.5-5.0

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

FIGURA 21
DISEÑO DEL MOLINO DE BOLAS



5.1.3.- Diseño y cálculo del horno rotatorio para la elaboración de Clinker:

Los hornos son dispositivos generadores de calor, el cual promueve reacciones químicas o cambios de estado, tales como fusión, calcinación, vaporización o simplemente el calentamiento de un material de cualquier tipo (metales, cerámicos, plásticos, polímeros, etc). En este sentido, los hornos con bajas temperaturas (cercanas a 100°C) sirven para evaporar el agua de los minerales.

Las temperaturas elevadas (cercanas a 800°C) vuelven más blandos la mayoría de los metales, capacitándolos para operaciones de deformación por flexión, forja, estampación, extrusión o laminación. Por su parte, los hornos con temperaturas más elevadas a las anteriores, permiten la fusión de metales y minerales.

La temperatura deseada en el horno se produce por la generación de calor, para lo cual se emplean dos métodos:

- a) Combustión de combustible.
- b) Conversión de energía eléctrica en calor.

El tipo de horno de combustión se emplea mucho más que el eléctrico; sin embargo, para muchas aplicaciones se prefiere el eléctrico, porque ofrece ventajas que no pueden ser medidas por el coste de combustible.

5.1.3.1.- Descripción del funcionamiento del horno rotatorio que usa combustible para generar calor: Un horno rotatorio es un reactor químico que se usa para tostar o calcinar materiales como bauxita, yeso, alúmina, mineral de hierro, cromita, pirita y fosfatos. Algunos se utilizan para regenerar absorbentes, para producir sulfuros de bario y sodio, para descomponer el sulfuro ferroso y para desfluorar los fosfatos naturales. Sin embargo el Clinker del cemento es el mayor material tratado en este tipo de horno.

Antiguamente se usaban los hornos de cuba para las operaciones que desempeña el horno rotatorio actualmente, pero ahora es viable trabajar con el horno rotatorio porque con él se obtienen temperaturas altas, para fusión y bajas para secado. Además permiten la posibilidad de utilizarlos en procesos continuos o discontinuos (intermitente).

Este horno consiste de un cilindro de acero, recubierto interna o externamente por un material refractario. Los hornos rotatorios con recubrimiento interno se diseñan para soportar temperaturas cercanas y superiores a 1000°C , por ejemplo para la reducción de ferroníquel. Por su parte, los hornos rotatorios con

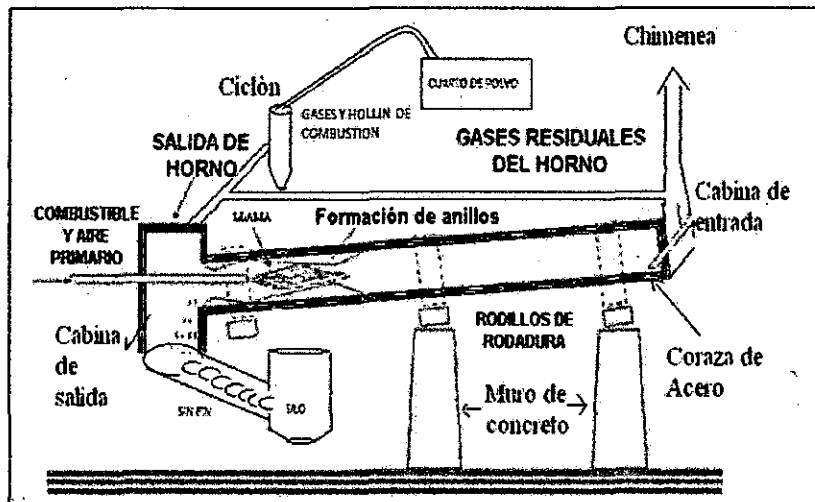
recubrimiento externo, se diseñan para aplicaciones en los que la temperatura está entre 100 y 600°C, como es el caso de los hornos de calcinación de yeso.

Como su nombre lo indica, los hornos rotatorios poseen un mecanismo de rotación sobre su eje, el cual permite el transporte del material por tratar dentro del horno. El horno tiene dos cabinas, situadas en los extremos del cilindro; la primera, en donde inicia el proceso de calentamiento se denomina cabina de alimentación. Se llama así por tener una abertura en la vista frontal para la entrada del material y una chimenea en la parte superior. Gracias a la inclinación del horno y a su rotación, el material alimentado se mueve cuesta abajo hasta la segunda cabina, denominada cabina de salida. Desde ella se descarga el producto a un mecanismo de transporte que saca el material al exterior.

Además, la cabina de salida tiene otra función: extraer el humo y hollín generado en el proceso de combustión hacia un ciclón, para recuperar sólidos y secuencialmente filtrar los humos en el cuarto de polvo, tal como se muestra en la Figura N° 22

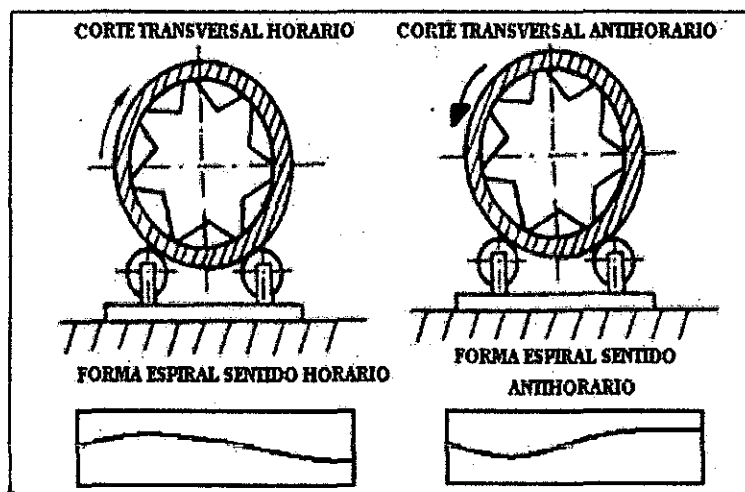
El cuerpo del horno (carcasa rígida de acero) tiene soldados anillos de rodamiento que se montan en los rodillos de soporte y permiten girar el horno. Los rodillos se encuentran sujetos a una base metálica que se encuentra incrustada en muros de concreto. En cada base metálica o muro de concreto se encuentran dos rodillos de soporte que dan estabilidad y equilibrio al horno durante su rotación continua.

FIGURA 22
ESQUEMA DE UN HORNO ROTATORIO



De acuerdo al sentido de rotación del horno se unen por soldadura en su pared interior las aspas en forma de espiral, tal como se muestra en la figura N° 23. Esto se hace para que haya un buen mezclado, una apropiada exposición al calor dentro del horno y para direccionar el material hacia la zona inferior.

FIGURA 23
SENTIDO DE ROTACION DEL HORNO Y FORMA DE LAS ASPAS INTERIORES



Después de la alimentación del mineral, este desciende gracias a su rotación, hasta llegar a un punto bajo en donde hay incremento de su temperatura porque se acerca a la llama. Esto se denomina proceso en contra flujo, porque el material desciende y la llama asciende.

5.1.3.2.- La llama como manifestación visible de la combustión: En términos teóricos, la llama es el medio gaseoso en el que se desarrollan las reacciones de combustión, produciendo radiaciones luminosas de origen tanto térmico como químico, no necesariamente en el espectro visible, que constituyen manifestaciones de las condiciones en que se efectúa la generación de calor.

En términos prácticos, podríamos definir a la llama como el espacio donde se realiza la combustión, o también, como la manifestación visible de la combustión, cuando se trata de combustibles sólidos y líquidos.

La mezcla combustible-comburente es la fuente de la llama; el quemador es su creador, vigilante y mantenedor.

La creación y mantenimiento de una llama apropiada, es un requisito previo e imprescindible para el aprovechamiento racional de la energía contenida en el combustible y que es capaz de arder en forma de calor.

Decir que una llama es apropiada, significa que tiene un conjunto de cualidades y características de naturaleza geométrica, física y química idóneas y compatibles con la aplicación perseguida.

5.1.3.2.1.- Condiciones límites para que se produzca una llama:

a) **Límites de inflamabilidad:** La reacción de combustible/oxígeno (aire) resulta crítica. Si esta relación es muy pequeña el combustible será muy pobre para quemarse, y si es demasiado grande, será demasiado rica para arder. Los límites de la relación combustible aire, en ambos sentidos, se llaman "límites superior e inferior de inflamabilidad del combustible". En la siguiente tabla se presentan valores para algunos gases y vapores conocidos.

TABLA 46
LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

Sustancia	Límite Inferior	% Volumen en aire Límite Superior
Monóxido de carbono (CO)	12,5	74,0
Hidrógeno (H ₂)	4,1	74,0
Metano (CH ₄)	5,3	14,0
Etileno (C ₂ H ₄)	3,0	29,0
Etano (C ₂ H ₆)	3,2	12,5
Propano (C ₃ H ₈)	2,4	9,5
Butano (C ₄ H ₁₀)	1,9	8,4
Pentano (C ₅ H ₁₂)	1,4	7,8
Benceno (C ₆ H ₆)	1,4	6,7
Gas Natural	4,8	13,5

*Fuente: Lección del cemento

b) Límites de temperatura: Las temperaturas máxima y mínima, a las que pueden encontrarse los gases de combustión, coincidentes con los instantes final y de encendido de la llama, establecen igualmente límites por sobre los cuales, no podrá mantenerse una combustión estable, por romperse el equilibrio entre la difusión térmica y la velocidad de producción de calor.

c) Límites de presión: Existen igualmente límites de presión que establecen un intervalo de presiones, dentro del cual puede existir una llama. Por debajo de 1 mbar absoluto las llamas tienden a extinguirse. El límite superior lo establece la peligrosidad de la mezcla a altas presiones, pudiendo estar por encima de 100 bar.

d) Límites por el efecto pared: Los intercambios térmicos entre la llama y las paredes del recinto, establecen un límite denominado efecto pared. Incluye la propia boquilla de salida, lo cual hace que en sus proximidades no se observe llama, y la presencia de puntos fríos en el interior de la cámara de combustión.

5.1.3.2.2.- Tipos de llama y su clasificación:

a) Por la modalidad de la mezcla del combustible:

- Llamas de difusión: Cuando la mezcla del combustible y comburente se realiza en el instante de la combustión.
- Llamas de pre-mezcla: Cuando la mezcla de los fluidos se realiza parcial o totalmente antes de alcanzar la cámara de combustión.

b) Por la velocidad del flujo de los reactantes:

- Laminar: Cuando los fenómenos de la mezcla y transporte ocurren en fluido laminar, es decir, estable, uniforme y a bajas velocidades (no excede 1m/seg).
- Turbulenta: Cuando la velocidad de salida de los gases es importante, con objeto de liberar un máximo de energía por unidad de tiempo, producto de condiciones más favorables para la mezcla combustible-oxígeno (velocidad unas 50 veces mayor que en fluido laminar).

c) Por su posición respecto a la boca del quemador:

- Llamas explosivas libres: Cuando se desarrollan en la atmósfera a la salida de un orificio, sin contacto con paredes laterales.
- Estacionarias: Cuando el combustible se quema poco a poco a medida que pasa a través de una determinada zona del sistema, dando lugar a llamas alargadas y de combustión lenta.

d) Por el estado físico del combustible:

- Combustibles gaseosos: Resultan más simples por hallarse combustibles y comburentes en una sola fase, pero difícilmente observables, y por tanto, difíciles de regular y controlar.
- Combustibles líquidos: El caso más frecuente en la práctica, fuertemente atomizados o dispersos, presentan importante presencia de partículas que queman en suspensión, emitiendo en el espectro

visible cuando se encuentran en estado incandescente, facilitando su observación, regulación y control.

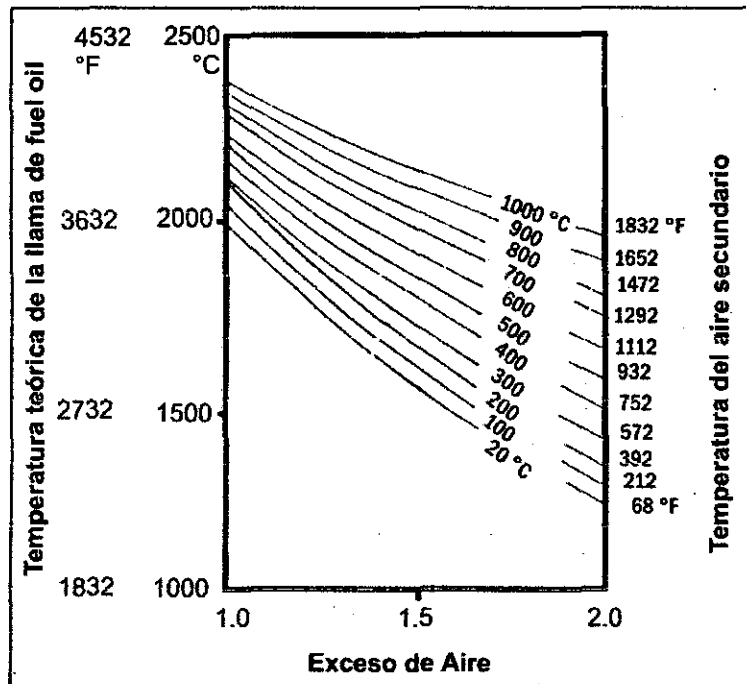
- Combustibles sólidos: Pulverizados se asemejan a los líquidos; en lecho fijo se complican por intervenir reacciones adicionales de pirólisis.

5.1.3.2.3.- Temperaturas de las llamas: Se denomina temperatura teórica de combustión, temperatura adiabática de combustión o temperatura de combustión calorífica, a la que se obtendría en una combustión estequiométrica, con mezcla perfectamente homogénea y en un tiempo brevísimo que no dé tiempo a pérdidas caloríficas con el ambiente.

Las temperaturas reales en la llama, disminuirán en función de las condiciones reales de trabajo, dependientes de algunos de los siguientes factores:

- a) Calor sensible del aire y el combustible.
- b) Exceso de aire.
- c) Características de la transferencia de calor en la cámara de combustión.
- d) Difusión molecular de reactantes.
- e) Difusión térmica de productos.

FIGURA 24
INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE COMBUSTION Y DEL
EXCESO DE AIRE SOBRE LA TEMPERATURA DE LLAMA



Aunque en el espectro de la llama se distinguen tanto bandas visibles, como infrarrojas y ultravioletas, moleculares y atómicas, e incluso, la mayor parte de calor se transfiere en la banda de infrarrojos, visible al ojo humano, en la práctica resulta de indiscutible validez y gran utilidad el juzgar la temperatura de la llama por observación visual de su coloración.

Como ejemplo, la tabla N° 47 se presentan las temperaturas que corresponden a los colores observados en la llama de un horno rotatorio para cemento.

TABLA 47
TEMPERATURAS QUE CORRESPONDEN A LOS COLORES DE LA LLAMA

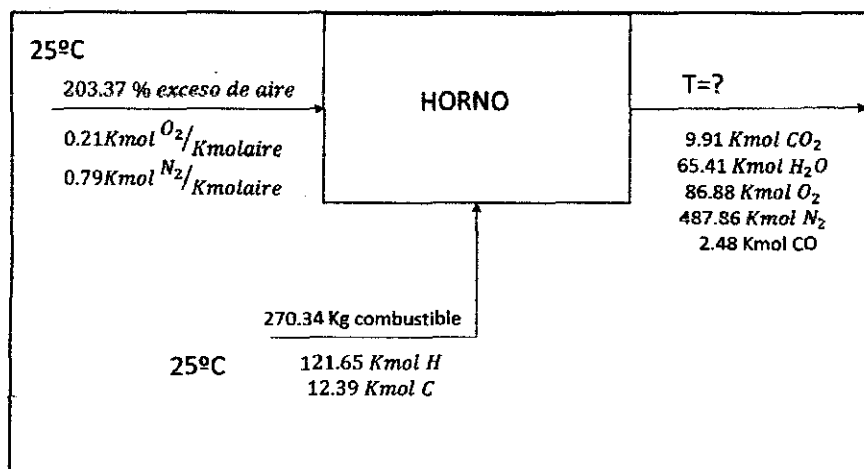
COLOR	°F	°C
Rojo suave	875	475
Rojo suave a rojo oscuro	875 - 1200	475 - 650
Rojo oscuro a rojo cereza	1200 - 1375	650 - 750
Rojo cereza a rojo cereza brillante	1375 - 1500	750 - 825
Rojo cereza brillante a naranja	1500 - 1650	825 - 900
Naranja a amarillo	1650 - 2000	900 - 1090
Amarillo a amarillo brillante	2000 - 2400	1090 - 1320
Amarillo brillante a blanco	2400 - 2800	1320 - 1540
Blanco a blanco deslumbrante	más de 2800	más de 1540

*Fuente: Lección del cemento

5.1.3.2.3.1.- Calculo de la temperatura la llama adiabática:

Con 203.37 % de aire en exceso, las corrientes de entrada entran a 25°C

DIAGRAMA 21
COMBUSTION DEL AIRE EN EXCESO Y LA TEMPERATURA DE LLAMA



Entalpía de producto = Entalpía de reactivos

$$H_{\text{Prod}} = H_{\text{Reac}} \quad (5.14)$$

Entalpia de reactivos:

$$n_H \hat{H}_H + n_C \hat{H}_C + n_{O_2} \hat{H}_{O_2} + n_{N_2} \hat{H}_{N_2}$$

$$n_C \hat{H}_C = 12.39 \times \int_{0^\circ\text{C}}^{25^\circ\text{C}} C_{pC}$$

$$12.39 \times \left[\int_{0^\circ\text{C}}^{25^\circ\text{C}} 11.18 \times 10^{-3} + 1.095 \times 10^{-5} T - 4.891 \times 10^{-8} T^2 \right]$$

$$12.39 \text{ Kmol C/h} \times 311.85 \text{ KJ/Kmol C} = 3863.82 \text{ KJ/h}$$

$$n_H \hat{H}_H = 121.65 \times \int_{0^\circ\text{C}}^{25^\circ\text{C}} C_{pH}$$

$$121.65 \times \left[\int_{0^\circ\text{C}}^{25^\circ\text{C}} 28.84 \times 10^{-3} + 0.00765 \times 10^{-5} T + 0.3288 \times 10^{-8} T^2 - 0.8698 \times 10^{-12} T^3 \right]$$

$$121.65 \text{ Kmol H/h} \times 9753.1 \text{ KJ/Kmol H} = 1186464.62 \text{ KJ/h}$$

$$n_{O_2} \hat{H}_{O_2} = 7.584 \text{ Kmol O}_2/\text{h} \times 0 = 0$$

$$n_{N_2} \hat{H}_{N_2} = 28.528 \text{ Kmol N}_2/\text{h} \times 0 = 0$$

$$n_H \hat{H}_H + n_C \hat{H}_C + n_{O_2} \hat{H}_{O_2} + n_{N_2} \hat{H}_{N_2}$$

$$H_{\text{Reac}} = 3863.82 \text{ KJ/h} + 1186464.62 \text{ KJ/h} = 1190328.44 \text{ KJ/h}$$

Entalpia de productos:

$$n_{H_2O} \hat{H}_{H_2O} + n_{CO_2} \hat{H}_{CO_2} + n_{CO} \hat{H}_{CO} + n_{O_2} \hat{H}_{O_2} + n_{N_2} \hat{H}_{N_2}$$

$$n_{H_2O} \hat{H}_{H_2O} = 60.83 \times \int_{25^\circ\text{C}}^T C_{pH_2O}$$

$$60.83 \times \left[\int_{25^\circ\text{C}}^T 33.46 \times 10^{-3} + 0.688 \times 10^{-5} T + 0.7604 \times 10^{-8} T^2 - 3.593 \times 10^{-12} T^3 \right]$$

$$60.83 \times \left\{ [33.46 \times 10^{-3}(T - 25)] + \left[\frac{0.688 \times 10^{-5}}{2} (T^2 - 25^2) \right] + \left[\frac{0.7604 \times 10^{-8}}{3} (T^3 - 25^3) \right] - \left[\frac{3.593 \times 10^{-12}}{4} (T^4 - 25^4) \right] \right\}$$

$$(2.04T - 50.88) + (20.93 \times 10^{-5}T^2 - 0.13) + (15.42 \times 10^{-8}T^3 - 0.0024) - (54.64 \times 10^{-12}T^4 - 0.000021)$$

$$2.04T + 20.93 \times 10^{-5}T^2 + 15.42 \times 10^{-8}T^3 - 54.64 \times 10^{-12}T^4 - 51.01$$

$$n_{\text{CO}_2} \hat{H}_{\text{CO}_2} = 9.91 \times \int_{25^\circ\text{C}}^T C_{\text{pCO}_2}$$

$$9.91 \times \left[\int_{25^\circ\text{C}}^T 36.11 \times 10^{-3} + 4.233 \times 10^{-5}T - 2.887 \times 10^{-8}T^2 + 7.464 \times 10^{-12}T^3 \right]$$

$$9.91 \times \left\{ [36.11 \times 10^{-3}(T - 25)] + \left[\frac{4.233 \times 10^{-5}}{2} (T^2 - 25^2) \right] - \left[\frac{2.887 \times 10^{-8}}{3} (T^3 - 25^3) \right] + \left[\frac{7.464 \times 10^{-12}}{4} (T^4 - 25^4) \right] \right\}$$

$$(0.36T - 8.95) + (20.97 \times 10^{-5}T^2 - 0.13) - (9.54 \times 10^{-8}T^3 - 0.0015) + (18.49 \times 10^{-12}T^4 - 0.000072)$$

$$0.36T + 20.97 \times 10^{-5}T^2 - 9.54 \times 10^{-8}T^3 + 18.49 \times 10^{-12}T^4 - 9.08$$

$$n_{\text{N}_2} \hat{H}_{\text{N}_2} = 487.86 \times \int_{25^\circ\text{C}}^T C_{\text{pN}_2}$$

$$487.86 \times \left[\int_{25^\circ\text{C}}^T 29 \times 10^{-3} + 0.2199 \times 10^{-5}T + 0.5723 \times 10^{-8}T^2 - 2.871 \times 10^{-12}T^3 \right]$$

$$487.86 \times \left\{ [29 \times 10^{-3}(T - 25)] + \left[\frac{0.2199 \times 10^{-5}}{2} (T^2 - 25^2) \right] + \left[\frac{0.5723 \times 10^{-8}}{3} (T^3 - 25^3) \right] - \left[\frac{2.871 \times 10^{-12}}{4} (T^4 - 25^4) \right] \right\}$$

$$(14.15T - 353.70) + (53.64 \times 10^{-5} T^2 - 0.34) + (93.07 \times 10^{-8} T^3 - 0.0145) \\ - (350.16 \times 10^{-12} T^4 - 0.000137)$$

$$14.15T + 53.64 \times 10^{-5} T^2 + 93.07 \times 10^{-8} T^3 - 350.16 \times 10^{-12} T^4 - 354.05$$

$$n_{\text{CO}} \hat{H}_{\text{CO}} = 2.48 \times \int_{25^\circ\text{C}}^T C_{p_{\text{CO}}} dT$$

$$2.48 \times \left[\int_{25^\circ\text{C}}^T 28.95 \times 10^{-3} + 0.411 \times 10^{-5} T + 0.3548 \times 10^{-8} T^2 - 2.22 \times 10^{-12} T^3 \right]$$

$$2.48 \times \left\{ [28.95 \times 10^{-3} (T - 25)] + \left[\frac{0.411 \times 10^{-5}}{2} (T^2 - 25^2) \right] + \left[\frac{0.3548 \times 10^{-8}}{3} (T^3 - 25^3) \right] \right. \\ \left. - \left[\frac{2.22 \times 10^{-12}}{4} (T^4 - 25^4) \right] \right\}$$

$$(0.072T - 1.79) + (0.51 \times 10^{-5} T^2 - 0.0032) + (0.29 \times 10^{-8} T^3 - 0.000046) \\ - (1.38 \times 10^{-12} T^4 - 0.00000054)$$

$$0.072T + 0.51 \times 10^{-5} T^2 + 0.29 \times 10^{-8} T^3 - 1.38 \times 10^{-12} T^4 - 1.79$$

$$n_{\text{O}_2} \hat{H}_{\text{O}_2} = 88.12 \times \int_{25^\circ\text{C}}^T C_{p_{\text{O}_2}} dT$$

$$88.12 \times \left[\int_{25^\circ\text{C}}^T 29.10 \times 10^{-3} + 1.158 \times 10^{-5} T - 0.6076 \times 10^{-8} T^2 + 1.311 \times 10^{-12} T^3 \right]$$

$$88.12 \times \left\{ [29.10 \times 10^{-3} (T - 25)] + \left[\frac{1.158 \times 10^{-5}}{2} (T^2 - 25^2) \right] - \left[\frac{0.6076 \times 10^{-8}}{3} (T^3 - 25^3) \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{1.311 \times 10^{-12}}{4} (T^4 - 25^4) \right] \right\}$$

$$(2.56T - 64.11) + (51.02 \times 10^{-5} T^2 - 0.32) - (17.85 \times 10^{-8} T^3 - 0.0028) \\ + (28.88 \times 10^{-12} T^4 - 0.000011)$$

$$2.56T + 51.02 \times 10^{-5} T^2 - 17.85 \times 10^{-8} T^3 + 28.88 \times 10^{-12} T^4 - 64.43$$

Entonces la sumatoria de todos los productos que salen del horno es:

$$\begin{aligned}
 & n_{H_2O} \hat{H}_{H_2O} + n_{CO_2} \hat{H}_{CO_2} + n_{CO} \hat{H}_{CO} + n_{O_2} \hat{H}_{O_2} + n_{N_2} \hat{H}_{N_2} \\
 & 2.04T + 20.93 \times 10^{-5} T^2 + 15.42 \times 10^{-8} T^3 - 54.64 \times 10^{-12} T^4 - 51.01 \quad + \\
 & 0.36T + 20.97 \times 10^{-5} T^2 - 9.54 \times 10^{-8} T^3 + 18.49 \times 10^{-12} T^4 - 9.08 \\
 & 0.072T + 0.51 \times 10^{-5} T^2 + 0.29 \times 10^{-8} T^3 - 1.38 \times 10^{-12} T^4 - 1.79 \\
 & 2.56T + 51.02 \times 10^{-5} T^2 - 17.85 \times 10^{-8} T^3 + 28.88 \times 10^{-12} T^4 - 64.43 \\
 & 14.15T + 53.64 \times 10^{-5} T^2 + 93.07 \times 10^{-8} T^3 - 350.16 \times 10^{-12} T^4 - 354.05 \\
 & \hline
 & 19.18T + 147.07 \times 10^{-5} T^2 + 81.39 \times 10^{-8} T^3 - 358.81 \times 10^{-12} T^4 - 480.36 \\
 & = 1190328.44 \text{ KJ/h}
 \end{aligned}$$

$$T = 2050 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.1.3.3.- Formación de llama y gasodinámica de la combustión: El desarrollo de un proceso de combustión y la conformidad de llama en el interior de un reactor o cámara de combustión, constituyen en lo fundamental un problema de mecánica de fluidos que permite controlar a través de la intensidad de mezcla la cinética de la reacción de combustión, en la forma que permita establecer las condiciones más favorables y adecuadas de transferencia de calor.

La comprobación práctica de que siempre se cumplen los postulados de la teoría inorgánica de la combustión, nos conduce a una visión diferente, más simple y objetiva, de la combustión industrial.

Se pueden establecer 4 etapas en el desarrollo del proceso de combustión:

- Mezcla de combustible y comburente.
- Ignición y encendido de la mezcla.
- Reacción química.
- Difusión de los productos de la combustión.

La ignición y la reacción química son rapidísimas, prácticamente instantáneas, mientras que la mezcla y difusión de gases resultan lentas, complicadas y difíciles.

En el interior de las cámaras de combustión se maneja la combustión como una suspensión de partículas de carbón en el aire que al reaccionar producirán gases de combustión y calor.

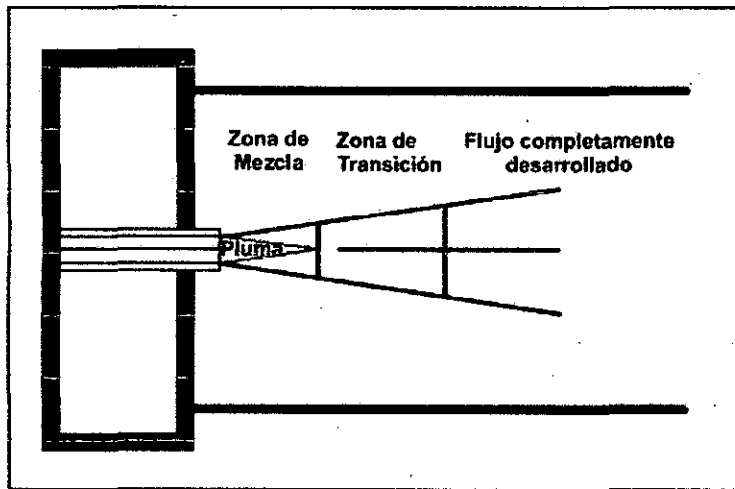
La forma de la llama resulta influenciada por las características de tamaño, naturaleza y composición de las partículas de coque procedentes de la molienda de carbón mineral, craqueo en fase líquida o gaseosa de combustibles líquidos, o craqueo de gases, pero determinada finalmente por las características de los impulsos de los flujos dominantes, aire primario o el propio combustible cuando se trata de gas natural.

En consecuencia, la mecánica de fluidos resulta fundamental para determinar la forma en que se efectúa la reacción de combustión y la definición de las características de la llama.

Para conocer los factores que afectan la formación de llama en el campo de la mecánica de fluidos, analicemos la gasodinámica de la combustión:

El flujo que emerge de una tobera forma un chorro que actúa dinámicamente sobre el ambiente que lo rodea, perdiendo velocidad y succionando aire o gas de los alrededores. El chorro se proyecta en la dirección prevista, perdiendo velocidad y succionando gas de los alrededores. En un chorro libre la presión estática es constante, mientras que en un chorro confinado la presión se incrementa con la distancia de la tobera ocasionando la formación de una zona de recirculación.

FIGURA 25
ESQUEMA DE CHORRO EN ESPACIO LIBRE



Un chorro en un espacio libre se compone de las 4 partes que se muestran en la figura anterior.

- Corazón o núcleo del chorro.
- Zona de mezcla.
- Zona de transición.
- Chorro completamente desarrollado.

La región del núcleo se caracteriza por velocidad constante y concentración similar a la de la tobera. Fuera de esta zona se desarrolla una capa límite en la cual momento y masa se transporta en forma perpendicular al flujo. La longitud del núcleo es 4 o 5 veces al diámetro de la tobera. La región transitoria que puede alcanzar unos 10 diámetros precede a la formación del chorro final.

La forma del chorro se caracteriza por el ángulo mitad, el cual se forma entre el eje del chorro y la línea formada por los puntos en los cuales la velocidad es la mitad de la velocidad en el eje Figura N° 26.

El chorro que fluye de la tobera en un horno tubular puede ser caracterizado como un chorro libre recto circular, habiéndose comprobado como valor práctico para

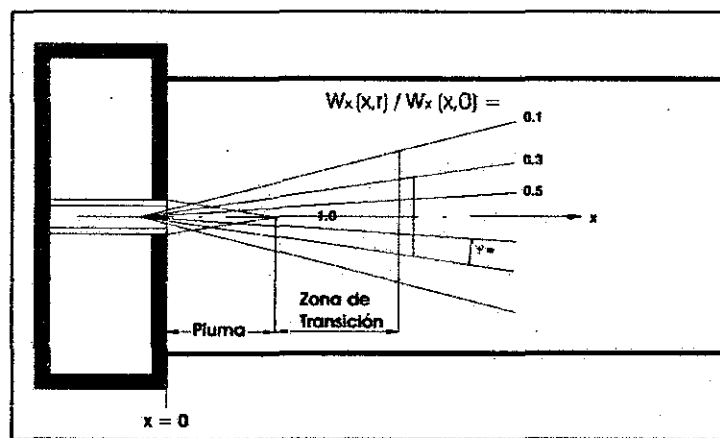
el ángulo mitad 4.85° , el cual no varía con la confinación del chorro; sin embargo, el grado de turbulencia (S) puede incrementarlo en la siguiente forma:

$$\text{ANGULO MITAD} = (4.85) (7S)$$

A partir del punto medio entre la tobera y la proyección del chorro que toca la pared del horno, el chorro puede considerarse y comportarse como un chorro confinado, por lo cual se presenta la recirculación de gases quemados.

Al producirse la ignición del combustible y convertirse el chorro en llama, delimitando el frente de llama, se incorporan al flujo los gases de combustión producidos y la energía generada por la reacción, los cuales influyen en forma distinta la cinética de la reacción y por tanto la longitud de llama. Mientras que el calor generado incrementa la velocidad de reacción, la presencia de gases de combustión ya quemados e inertes disminuye la disponibilidad de oxígeno para la reacción y por lo tanto la demoran.

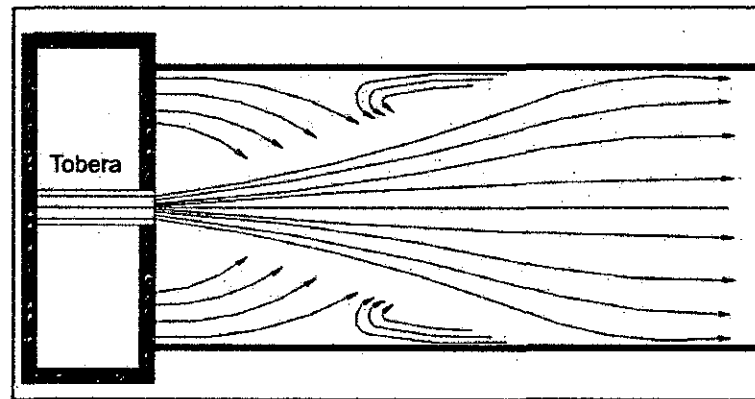
FIGURA 26
FORMA DEL CHORRO, CARACTERIZADO POR EL ANGULO MITAD



El chorro de los quemadores unicanal puede ser considerado como un chorro recto circular, como el que se muestra en la figura N° 27. El incremento de presión que ocasiona el chorro genera una recirculación de gases quemados hacia la zona exterior, tomando la llama una forma cónica. Siendo el ángulo mitad de

4.85°, aproximadamente a unos 3 diámetros del horno se debería producir el impacto de la llama con las paredes del horno.

FIGURA 27
CHORRO RECTO CIRCULAR



- En hornos cementeros: La formación de llama cónica hueca tan importante para lograr las condiciones adecuadas de potencia térmica, transferencia de calor y estabilidad operativa que exige el proceso de clinkerización que ya no se concibe un horno cementero que no opere con este tipo de llama y resulte competitivo.

5.1.3.4.- La función química del aire en la combustión:

Los combustibles son almacenes de energía química formados por la naturaleza durante millones de años, que se transforma en energía térmica, al reaccionar sus componentes básicos, Hidrógeno y Carbono, con el Oxígeno.

La fuente de oxígeno para la combustión más abundante, barata y fácil de manejar es, indudablemente, el aire.

Esta condición de fuente inagotable de oxígeno y la permanente disponibilidad del aire en cualquier condición de tiempo y espacio, conduce con frecuencia al error de minimizar su importancia en el proceso de combustión.

5.1.3.4.1.- Caracterización del aire como comburente: En forma similar a la que debe permitir el perfecto conocimiento del combustible empleado,

el aire de combustión también debe ser caracterizado, tanto en los aspectos que definen su empleo como comburente, como para asegurar que sea aportado al quemador en las condiciones previstas en su diseño.

Se llama comburente al aire o al oxígeno que participa en la oxidación de la materia combustible liberando luz y calor en el proceso llamado combustión.

Debe asegurarse de que tanto el combustible empleado como el aire de combustión sean aportados al quemador en las condiciones previstas en su diseño.

Para efectos prácticos resultará suficientemente correcto considerar la siguiente composición, a nivel del mar, en condiciones normales de presión (760 mm de Hg) y temperatura (0°C).

En la mayor parte de los casos para las determinaciones técnicas de tipo teórico (volumen de los gases de combustión, temperatura máxima, temperatura de rocío, calor sensible de los humos), se comete poco error considerando aire seco en donde la proporción entre el nitrógeno y el oxígeno es de 79 a 21% en volumen.

Finalmente, para conseguir la combustión completa más próxima a la teórica y según el estado físico del combustible (granos, polvo, líquidos, gases y dispersiones) es preciso emplear una proporción de oxígeno superior a la teórica por razones físicas de contacto que después detallaremos. De aquí el llamado exceso de aire sobre el teórico necesario.

Este exceso de aire conlleva especialmente dos efectos importantes en cuanto al propósito de la combustión:

1º Disminución de la temperatura máxima posible, al aumentar la cantidad de gases en la combustión.

2º Variación sensible en cuanto a la concentración de los óxidos formados, en el nitrógeno del aire empleado.

5.1.3.4.2.- Función termodinámica del aire en la combustión: La disponibilidad libre y permanente del aire atmosférico, generalmente limpio y estable, lo convierte en el fluido termodinámico favorito para sistemas de intercambio térmico en general.

En sistemas de combustión, las funciones termodinámicas del aire se extienden desde la pre-combustión hasta la salida de gases quemados al ambiente.

5.1.3.4.3.- Recuperación del calor: El aprovechamiento del calor liberado en la combustión completa debe ser transferido y depende de la eficiencia de esta operación el nivel de eficiencia del sistema, existiendo siempre la posibilidad de recuperar el calor que se pierde al ambiente. La posibilidad técnicamente más razonable resulta aprovechar este calor para precalentar el aire requerido por la combustión, pero debe tomarse en cuenta que al calentar el aire disminuye su densidad, lo cual afecta las funciones que cumple el aire en la combustión.

Aparentemente siempre resultará buen negocio recuperar calor que se pierde al ambiente y recircularlo a la misma fuente de calor, ahorrando combustible, pero debe tomarse en cuenta que al calentarse el aire disminuyen su calidad como comburente y el impulso del aire primario que aporta la energía cinética para la mezcla.

5.1.3.5.- Pre-calentador del crudo en suspensión de gases: Teniendo un crudo con la composición química adecuada para la calidad de Clínter prevista y una curva granulométrica lo más estrecha posible, debe calentarse hasta la temperatura de descarbonatación. Para cumplir éste propósito aprovechando el calor de los gases circulantes, se ha establecido teóricamente y comprobado en la práctica, que el mejor sistema es el intercambio en contracorriente del polvo en suspensión de gases.

Aunque se han probado diferentes diseños y conceptos funcionales, finalmente se ha comprobado que el arrastre del polvo en la corriente de gases y la separación de ambos en sucesivas etapas de cicloneo resulta el más eficiente y efectivo.

5.1.3.5.1.- Pre - calcinación total: Sistemas con ducto de aire terciario:

Los sistemas con pre – calcinación y con ducto de aire terciario permiten la calcinación casi completa del crudo y proporcionan las capacidades de producción más altas con el consumo energético más bajo. Con la combustión del 60-65% del combustible en el pre-calcinador se consigue una calcinación del 90-95% y se asegura un incremento de la capacidad de producción de 2.5 veces mayor que la de un sistema convencional.

Los hornos con pre-calcinador alcanzan capacidades de hasta 10000 t Clínter/día. Un horno de tamaño medio, Ø=5.6 m y L=95 m con intercambiador de calor de ciclones y pre-calcinador nos ofrece la posibilidad de una capacidad de producción de 8000 t Clínter/día. Altas capacidades específicas de producción traen como consecuencia un sustancial descenso de los costes de construcción de dichos hornos.

La realización de un grado de calcinación más elevado no es oportuno, ya que la no finalización del proceso de calcinación constituye un regulador, que previene un excesivo aumento de la temperatura en el pre-calentador lo que es importante para:

1. Prevenir acumulaciones e incrustaciones de material en el pre-calcinador y en el pre-calentador, debidas a fusiones a baja temperatura, que pueden bloquear la entrada de gases.
2. Prevenir una elevada temperatura de salida de los gases, que trae consigo mayores pérdidas de calor.
3. Evitar aglomeraciones o agregados de partículas en el pre-calcinador, que se favorecen por un aumento de la temperatura, que pueden no tener el tiempo suficiente para ser calcinados, debido al corto espacio de tiempo que el crudo permanece en el pre-calcinador, normalmente

2 segundos, que es demasiado corto para que dichos aglomerados se calcinen completamente.

Los pre-calcinadores además deben de asegurar la combustión completa del combustible, para que los gases de salida no contengan CO. Estos gases tienen una temperatura ligeramente superior, que en el caso de una instalación de intercambiador de ciclones convencional. Sin embargo, las pérdidas de calor por las paredes del horno son menores.

La combustión del combustible en los pre-calcinadores se lleva a cabo con llama débil, ya que el intercambio de calor, que tiene lugar en un 90% por el mecanismo de convección, es muy intenso entre las partículas de crudo y de combustible, que además de ser muy pequeñas están muy juntas. Estas condiciones favorables para el intercambio de calor, son la razón para que el tiempo de calcinación sea muy corto y que venga determinado por la velocidad de la reacción química, y no por la transferencia de calor ni de masa.

Para obtener un buen mezclado entre el crudo y el combustible y los gases calientes provenientes del horno, en la mayoría de los pre-calcinadores se crea un movimiento tipo VORTEX.

5.1.3.6.- Horno rotatorio: La fabricación del Clinker de cemento portland, en los primeros tiempos, se realizaba en hornos verticales cargados y controlados manualmente. Este procedimiento exigía grandes esfuerzos físicos y presentaba el inconveniente de un funcionamiento irregular produciendo un Clinker de composición química y mineralógica variable y, a menudo, de mala calidad. Además la capacidad de producción de dichos hornos era muy baja. Este sistema, tan poco satisfactorio, fue reemplazado por hornos verticales automáticos, en los cuales con un buen crudo y con un combustible conveniente, era posible obtener un funcionamiento regular del horno y, por tanto, un Clinker más homogéneo. El inconveniente que seguía presentándose era el de una producción limitada, nunca superior a las 300 toneladas por día.

A finales del siglo XIX apareció en Gran Bretaña el horno rotatorio, y hoy en día el piro procesamiento del crudo con el fin de obtener el Clínter tiene lugar, casi exclusivamente, con este tipo de horno. La capacidad de producción de los hornos rotatorios, comparada con la de los hornos verticales, es mayor y aumento considerablemente, especialmente después de la introducción de los sistemas de intercambiadores de calor y de pre calcinación, así como del adecuado control y automatización del proceso de piro procesamiento. Hoy en día existen plantas con una capacidad de producción de 10000 t. Clínter/24 h. Además hay que tener en cuenta que todo esto se ha logrado sin disminuir o incluso aumentando la calidad del Clínter.

Cualquiera que sea la dimensión del horno existen una serie de características comunes a todos ellos que son:

1. El horno rotatorio consiste en un tubo cilíndrico apoyado sobre estaciones de rodadura (2, 3,...8), que tiene una pendiente del orden del 3.5 % con respecto a la horizontal y que gira a velocidades de rotación comprendidas entre 1.8 y 3.5rev/minuto (rpm).
2. La puesta en rotación del horno puede asegurarse de dos maneras.
3. Con el fin de evitar los movimientos de deslizamientos de sube y baja de los aros de rodadura sobre los rodillos el guiado axial del horno está asegurado por uno o dos topes hidráulicos, las cuales imprimen al horno un movimiento axial limitado, con el fin de repartir de manera uniforme el desgaste sobre toda la superficie que los rodillos soporte.

Si el horno estuviera horizontal, los ejes de los rodillos de apoyo, del aro de rodadura y del horno podrían estar paralelos y el horno estaría en posición. Sin embargo, para que el material a cocer avance en el horno es necesario darle una inclinación de unos grados, de tal modo que es preciso compensar la componente que tiende a hacer descender el horno por un esfuerzo de sentido opuesto aportado sobre los aros de rodadura.

Dicho esfuerzo esta suministrado mediante:

- El no paralelismo entre los ejes de los rodillos de apoyo y el eje del horno.
- Un rodillo empujador.

El reglaje entre el aro de rodadura y los rodillos soportes debe permitir el desplazamiento del horno de 40 a 60 mm en los dos sentidos. La duración de la subida del horno será del orden de 8 a 24 horas, mientras que la del descenso será de 4 a 8 horas.

En los hornos pequeños, con rodillos del tamaño correspondiente, se dispone el último par formando sus ejes un pequeño ángulo con el eje del horno en vez de mantenerse paralelos con él. No obstante, actualmente, en los grandes hornos, los ejes de los rodillos se emplazan paralelamente al horno en una disposición que permita al horno realizar continuamente movimientos de sube y baja, evitándose, de este modo, que los aros no se apoyen oblicuamente sobre los rodillos y no se formen en ellos surcos o deformaciones laterales.

Según que el horno rotatorio este equipado o no de rodillos empujadores el principio del reglaje será diferente.

Sin rodillos empujadores, los ejes de los rodillos soporte están orientados, con respecto al eje del horno de manera de hacerlo subir. Cuando se llega a la posición más alta, la puesta en acción de un engrasador es suficiente para hacer descender el horno. Los riesgos de daños ligados a un control insuficiente del movimiento de descenso, así como desgastes en forma de diábolo de los rodillos y en forma de tonel de los aros de rodadura, han conducido a la utilización de rodillos de empuje axial, los cuales permiten controlar la amplitud de los desplazamientos.

En este caso, los ejes de los rodillos soporte (de apoyo) están reglados paralelamente al eje del horno y el descenso del horno está provocado por su inclinación con respecto a la horizontal. El movimiento de subida lo realizan los rodillos de empuje axial accionados por gatos hidráulicos según un programa

bien definido y dominado. El descenso está controlado por la descarga programada del sistema hidráulico.

4. En el interior del horno la temperatura de los gases evoluciona de 2000 – 2350°C (Llama) a 1050°C, mientras que el material pasa de 850 – 900°C a 1420 – 1450°C. Un revestimiento refractario protege a la virola y reduce las pérdidas de calor.

El horno de Clinker está sometido a diversas sollicitaciones que tienen su origen en:

- 1.- Cargas mecánicas puestas en obra o aplicadas.
- 2.- Cargas térmicas.
- 3.- Defectos de geometría.

Las cargas mecánicas, puestas en obra o aplicadas, pueden ser:

- Uniformemente repartida: peso propio de la virola, peso del material refractario y peso del material.
- Concentradas: peso de la corona, peso sobre los extremos del horno (juntas, satélites) y fuerza y par de accionamiento.
- Evolutivas: encostramiento, anillos.

Las sollicitaciones debidas a la carga térmica son:

- Variación de la temperatura a lo largo de la longitud del horno.
- Distribución de temperatura no homogénea en las secciones transversales del horno.

Estas sollicitaciones generan esfuerzos y deformaciones que se evalúan mediante cálculo, con el fin de que estén dentro de límites aceptables.

Como defectos de geometría se pueden citar los siguientes:

- Alineamientos imperfectos de los soportes (Horizontal y vertical).
- Construcción defectuosa durante el montaje (eje de la virola no rectilíneo).
- Deformaciones permanentes creadas por sobrecalentamientos.

5.1.3.6.1.- Tipos de hornos rotatorios: Los principales tipos de horno rotatorio que se utilizan en la industria del cemento pueden verse en la figura 28. Como puede observarse existen modelos en los cuales el diámetro no es uniforme.

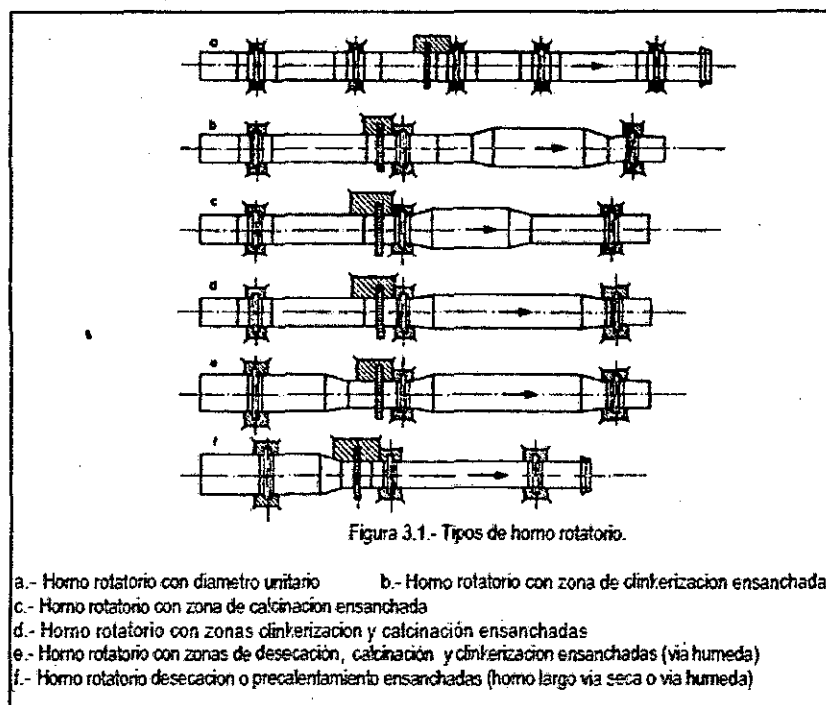
El ensanchamiento de las zonas tiene por objeto, que disminuya la velocidad de los gases calientes y así mejorar en intercambio térmico entre ellos y el material. Sin embargo, en los hornos de sección no uniforme la velocidad con que avanza el material es diferente según la zona, siendo mayor en las zonas ensanchadas. Esto contrarresta algo el efecto de la menor velocidad de los gases y lo que es más importante da lugar a desplazamientos irregulares del material, que influyen desfavorablemente en la marcha del horno.

En las zonas de transición de las zonas ensanchadas a las que no lo han sido, se producen retenciones de material, que ocasionan rozamientos y producen polvo. Además la realización de las piezas de transición es más cara que la de las virolas cilíndricas y el revestimiento refractario es más complicado de ejecutar, exigiendo configuraciones especiales de las piezas de refractario.

Una forma especialmente desfavorable, es la que presenta la zona de salida del horno más estrecha, ya que conduce a un mayor enfriamiento del Clínter en el horno (menor velocidad de paso del material), el cual se produce lentamente en perjuicio de la calidad del Clínter y a un rápido deterioro del revestimiento refractario de dicha zona.

Las consideraciones anteriores, la experiencia práctica y consideraciones teóricas han llevado a la conclusión de que la forma más conveniente para el horno rotatorio es la que tiene la sección uniforme en toda su longitud.

FIGURA 28
TIPOS DE HORNO ROTATORIO



5.1.3.6.2.- Hornos rotativos largos: Alimentación: pasta con un contenido de agua de 30 a 45 % (vía húmeda) o polvo crudo (vía seca).

Diámetro del cilindro: hasta 7.0 m.

Longitud del horno: para vía húmeda o seca: entre 32 y 35 veces el diámetro del cilindro.

Inclinación del horno: de 3.0 a 4.5 %.

Velocidad de rotación: 1.5 a 2.5 r.p.m., lo que corresponde a una velocidad tangencial de 0.3 a 0.9 m/seg.

Sistema de cadenas interiores: peso de las guirnaldas de cadenas, cerca de 0.1 a 0.13 t/m³ de volumen efectivo del horno.

Carga de calor en la zona de cocción sobre el revestimiento refractario: 20 a 25 GJ/m²-h.

Tiempo de permanencia del material en el horno: 3 a 5 horas.

5.1.3.7.- Revestimiento interno del horno: El tiempo de actividad del horno también llamado de marcha depende, en primer lugar, de la calidad del

revestimiento del horno. Se prescinde de su alto precio y se adquieren las mejores calidades del material para revestir el horno a fin de lograr un dilatado período de explotación. Las paradas del horno, fuera del plan de trabajo pre establecido, debidas a la mala calidad del revestimiento, producen muy costosos fallos de producción.

Las finalidades del revestimiento de refractario del horno rotatorio se cifran en:

a) Proteger a la envolvente de chapa del horno de las altas temperaturas de las llamas y del material en proceso de reacción.

b) Rebajar las pérdidas de calor por radiación y convección de la chapa del horno. Aparte de esto, el revestimiento del horno absorbe energía térmica de los gases calientes del horno y la cede al material. Puesto que los gases están a una temperatura significativamente más alta que el material, durante la rotación del horno el revestimiento está sometido a variaciones de temperaturas. Como consecuencia del movimiento rotatorio del horno, el forro también está sometido a sollicitaciones mecánicas. Asimismo hay que considerar la acción del desgaste por rozamiento, ocasionada por el material al chocar y rueda sobre el revestimiento.

En la zona de sinterización del horno rotatorio, donde la temperatura del material llega a los 1200-1400°C y la de los gases algunos centenares de grados más alta, el refractario, está sometido además a la acción químico-agresiva de los gases y del material.

El caudal específico, en crecimiento permanente, de los hornos y la capacidad térmica que ello comporta, exige las más altas calidades para el revestimiento del horno. El contenido de fase líquida en el Clínger es decisivo para la reacción entre el material y el revestimiento del horno en la zona de cocción.

Los requisitos que el forro refractario del horno ha de cubrir, corresponden a las propiedades siguientes:

1. Resistencia mecánica.
2. Poder refractario bajo presión.
3. Estabilidad ante los cambios de temperatura.
4. Capacidad de resistencia química.
5. Dilatación por el calor o estabilidad de volumen.
6. Conductividad térmica.
7. Resistencia al rozamiento.
8. Porosidad.

1.- Resistencia mecánica: A los ladrillos del revestimiento del horno se les exigen las siguientes condiciones para que ofrezcan resistencia mecánica (también llamada resistencia mecánica en frío):

Ladrillos con alto contenido de Al_2O_3 : 350-500Kg/cm² de resistencia a la compresión, en frío, para los ladrillos de dolomita o de magnesita, 500-700 Kg/cm². Se puede determinar fácilmente en frío la resistencia mecánica de los ladrillos refractarios y es un punto de partida para el comportamiento de los ladrillos, a la temperatura de trabajo, en el horno. El elevado valor de las sollicitaciones sobre el ladrillo, a la temperatura de explotación, requiere una alta resistencia a la compresión en frío. Se ha de tener presente la estabilidad de la envolvente de chapa del horno y sus deformaciones durante la explotación. La deformación máxima, es decir, la desviación de la forma circular del cilindro de chapa, se presenta en la proximidad de los aros de apoyo y rodadura del horno. Con el aparato de medición de las deformaciones, realizable con el horno en marcha, se ha determinado la deformación radial, llamada ovalidad, o sea, la diferencia de longitud entre el diámetro vertical y el horizontal de la sección del horno durante el giro de éste, que llega hasta el 0.3% del diámetro; en hornos antiguos, las diferencias encontradas varían, de 0.6 a 0.7%. Si el forro refractario no consigue absorber esta compresión y descompresión cíclicas, éstas pueden llegar a destruirlo. La resistencia a la compresión en frío se comprueba de acuerdo con la norma ASTM C-133.

2.- Poder refractario: En la zona de sinterización el poder refractario de los ladrillos del revestimiento del horno debe corresponder al cono Seger nº 33, es decir, debe soportar los 1730°C. Sin embargo, generalmente se utilizan ladrillos cuyo poder refractario corresponden a los conos núms. 35-36, o sea, a temperaturas de 1770-1790°C. La estabilidad frente a la carga térmica bajo presión se mide por la temperatura a la que el material refractario comienza a reblandecerse bajo una presión de 2 Kg/cm². La resistencia térmica bajo presión de los ladrillos de magnesita debe estar unos 150°C por encima de la temperatura de sinterización del Clínter. Una mayor estabilidad a la carga térmica bajo presión no es, en absoluto, un indicio de buen comportamiento, pues en ese caso pueden aparecer dificultades para la formación de costra. El forro refractario del horno debe adoptar, a altas temperaturas, cierto grado de plasticidad, para poder absorber solicitaciones anómalas de presión.

3.- Estabilidad ante los cambios de temperatura: Durante una vuelta del horno, que de modo normal dura un minuto, el revestimiento refractario del horno queda expuesto una vez a la acción de la alta temperatura de los gases del horno, y otra a la del material en reacción que está más frío. Las variaciones periódicas de temperatura de la superficie del ladrillo son del orden de los 400 grados. A la capacidad de soportar estos cambios tan reiterados de temperatura se designa como resistencia o estabilidad ante los cambios de temperatura. El ensayo de la estabilidad ante los cambios de temperatura se realiza calentando el ladrillo a 950°C y seguidamente enfriándolo en agua fría (3 minutos), procedimiento que se repetirá hasta que se haya producido una pérdida de peso del 50%. Los ladrillos de alto contenido de alúmina han de soportar de 15-25 ciclos; los de magnesita, de 5-15 y los de cromo magnesita, hasta 20. Los ladrillos básicos se suelen someter a ensayo con aire a presión.

La estabilidad ante los cambios de temperatura es también una medida para el encendido o caldero del horno rotatorio, cuya zona de cocción esté revestida con ladrillos de magnesita. Los fabricantes norteamericanos de

magnesita recomiendan calentar los hornos, a partir de su estado frío, dentro de las primeras 4-5 horas de modo regular hasta los 1100°C. A partir del instante en que se logra tal temperatura se ha de alimentar en el horno con crudo. En unas dos horas (depende de la longitud del horno) el crudo alcanza la zona de sinterización, la cual durante este intervalo ha alcanzado la temperatura de trabajo; otros fabricantes recomiendan un tiempo de calefacción de 12-16 horas. Son tan perjudiciales las calefacciones o enfriamientos bruscos de los forros de dolomita o de magnesita que en la explotación práctica se les ha de prestar gran cuidado.

En este sentido también ha de considerarse la sensibilidad de los ladrillos de magnesita frente al agua o su vapor especialmente en el intervalo de temperatura de 60 a 295°C. En este intervalo de temperatura el óxido de magnesio libre de los ladrillos de magnesita muestra una tendencia especial a combinarse con el agua o su vapor respectivamente para generar hidróxido de magnesio. Este proceso va ligado a un aumento de volumen, que destruye la textura de los ladrillos de magnesita. Este fenómeno puede presentarse si el vapor de agua producido por la combustión de las llamas del horno se deposita sobre las partes frías del revestido refractario. La tendencia del óxido de magnesio a combinarse con el vapor de agua crece con la temperatura y desaparece a los 285°C. En la práctica, durante el encendido de los hornos rotatorios, se hace lo posible para sobrepasar rápidamente el intervalo crítico de temperatura de 60-295°C e impedir así la hidratación del óxido de magnesio.

4.- Capacidad de resistencia química: A las altas temperaturas de la zona de sinterización, el material presenta una actividad química muy intensa frente al revestimiento del horno, muy caliente. Además en la zona de sinterización el material contiene del orden del 20-25% de fase fundida, lo que eleva aún más la reactividad frente al de ladrillo. La agresión química por el material en la zona de sinterización afecta a casi todos los

materiales refractarios, excepto a la dolomita y la magnesita por tratarse de materiales que por sí mismos tienen carácter básicos y por ello son inmunes a la reacción química del Clínger, particularmente la dolomita, debido a su alto contenido de CaO. La agresividad del Clínger depende del valor de los módulos de silicatos y de alúmina, pues con valores crecientes de éstos aumenta la agresividad del Clínger. Si el horno se alimenta con carbón, las cenizas de éste son relativamente fáciles de fundir, llegan al revestimiento refractario y pueden reaccionar fácilmente con él. Los gases de combustión también pueden reaccionar con el refractario, especialmente si contienen monóxido de carbono.

5.- Dilatación por el calor o estabilidad de volumen: Durante la operación de cocción intervienen tres factores fundamentales: temperatura, tiempo y atmósfera del horno. Los fenómenos que se desarrollan durante la cocción pueden clasificarse en fenómenos físicos y fenómenos químicos.

Los fenómenos físicos se manifiestan en todos los materiales crudos o cocidos y pueden citarse la dilatación térmica, las transformaciones alotrópicas, la densificación, la fusión de ciertos constituyentes, etc. La dilatación térmica es un efecto de la elevación de la temperatura y se manifiesta de modo que el volumen aumenta en ausencia de transformaciones que modifiquen la naturaleza del material.

6.- Conductividad térmica: Junto con la conductividad térmica tiene gran importancia el espesor del revestimiento refractario. En Norteamérica los hornos rotatorios con diámetros de hasta 12 pies, se revisten con ladrillos de 6 pulgadas. En hornos rotatorios de más de 3.85 m de diámetro, el espesor del forro refractario es de 9 pulgadas y 10 pulgadas. Cabe destacar que el espesor del refractario no siempre depende del diámetro del horno. Para el caso de buena formación de costra se acepta rebajar un grado, a veces dos, el orden del espesor. Si el horno no se halla dentro de una

edificación, influye el movimiento del aire ambiente sobre las pérdidas de la envolvente metálica por radiación. Los datos siguientes proporcionan el valor de las pérdidas para el aire en reposo o en movimiento. Para aire tranquilo a 21°C el calor radiado por m² de pared de horno y hora es:

TABLA 48
CALOR RADIADO POR m² DE PARED DE HORNO Y HORA

Temperatura de la chapa, °C	Pérdida de calor kcal/m²·h
38	120
93	715
149	1590
204	2810
260	4460
316	6660
372	9460
426	12,930

*Fuente: Lección del cemento

Para velocidad del aire que circunda el horno de 1.5 m/seg a una temperatura de 21°C se producen las siguientes pérdidas de calor:

TABLA 49
PÉRDIDAS DE CALOR PARA VELOCIDAD DEL AIRE QUE
CIRCUNDA EL HORNO DE 1.5 M/SEG A UNA TEMPERATURA DE
21°C

Temperatura de la chapa, °C	Pérdida de calor kcal/m ² ·h
38	232
93	1270
149	2550
204	4040
260	5950
316	8330

*Fuente: Lección del cemento

Por un lado, mayor espesor del revestido disminuye el volumen útil del horno y con ello su caudal; por otro, sin embargo, el mayor espesor eleva la economía térmica del horno, puesto que rebaja las pérdidas por radiación.

7.- Resistencia al rozamiento: El material que resbala sobre el revestido refractario durante la rotación del horno produce rozamiento sobre los ladrillos. La resistencia al rozamiento también depende de la resistencia a la compresión del ladrillo refractario. La resistencia al rozamiento se mide en cm³ por cm² de la superficie expuesta al rozamiento.

8.- Porosidad: En la actualidad, ya se conocen y son utilizados diversos materiales refractarios; pero todos ellos presentan limitaciones tanto operativas como funcionales, muy especialmente con respecto a su degradación progresiva por las altas y alternantes temperaturas de los hornos, y a las reacciones químicas; con lo cual el uso de los medios ya desarrollados presentan siempre ciertas limitaciones frente a la invención que se presenta, en base a sus ventajas técnicas y económicas. Estas limitaciones se superan con la composición química de la invención -

magnesita (MgCO_3), alúmina (Al_2O_3), grafito - , aditivos mejoradores y resinas ligantes; que acrecientan su operatividad y rendimiento y cuya estructura presenta una baja porosidad y alta capacidad refractaria. El ladrillo refractario puede ser realizado y dispuesto de la siguiente manera:

En relación a los componentes químicos, un porcentaje en peso de Magnesita (MgCO_3) entre el 75 - 62 %, preferentemente de una magnesita de agua de mar, un porcentaje en peso de Alúmina (Al_2O_3) entre un 12 - 20 %, y un 4 - 11 % de Grafito. Siendo la pureza del Grafito preferentemente de un 94 % cristalino y en escamas. Así como un porcentaje en peso de aditivos mejoradores del choque térmico y la resistencia térmica y la oxidación (en una composición conjunta de aluminio en polvo, silicio metal, carburo de silicio y arcilla) de entre un 9 - 7 %. Utilizándose como ligante sobre estos porcentajes totales resinas de entre un 3 - 4 % de porcentaje en peso.

5.1.3.8.- Diseño y cálculo de los ciclones como sistema de pre – calcinación: Se escoge un ciclón de alta eficiencia tipo Stairmand ya que están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 micras con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Además el diseño del ciclón debe cumplir con los siguientes parámetros para asegurar una alta eficiencia, por tanto una excelente remoción de las partículas de material del aire.

$$D_c < 6\text{m}; \Delta P < 2488.16 \text{ Pa}; \frac{V_i}{V_s} < 1.35; V_i = 9 \text{ m/seg} - 27.4 \text{ m/seg}$$

Donde:

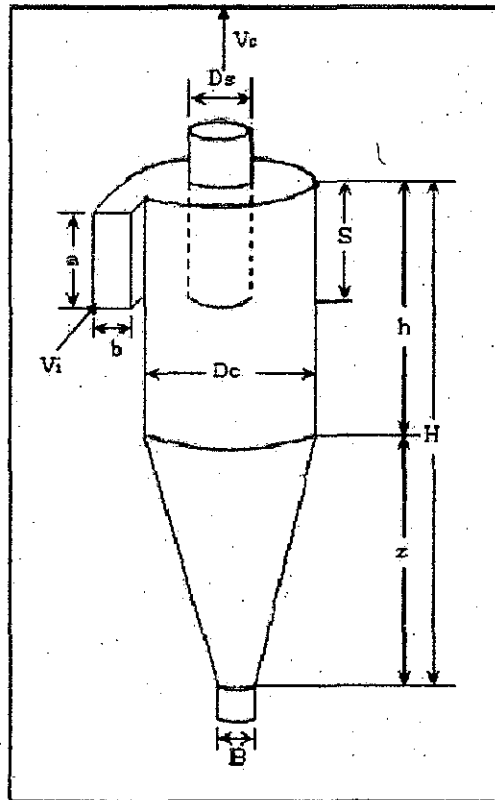
D_c = Diámetro del ciclón o colector.

ΔP = Caída de presión.

V_i = Velocidad de entrada al ciclón.

V_s = Velocidad de saltación.

FIGURA 29
CICLON DE ALTA EFICIENCIA (nomenclatura – dimensiones)



Relaciones para el dimensionamiento de un ciclón de alta eficiencia.

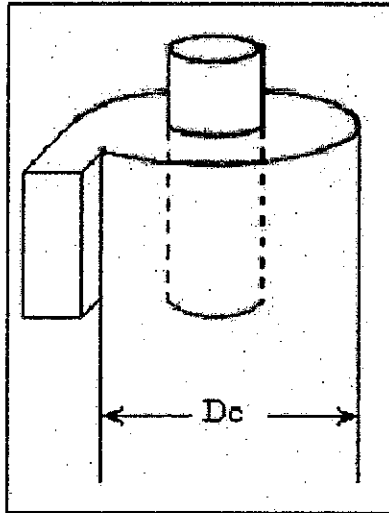
TABLA 50
CARACTERISTICA DE LOS CICLONES DE ALTA EFICIENCIA
(STAIRMAND)

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

*Fuente: Tesis de diseño y construcción del sistema óptimo para la micro pulverización de Bentonita sódica

1.- Cálculo del diámetro: Con las medidas comerciales de una plancha de acero siendo la producción de 2241.4Kg/h se tiene las siguientes medidas que son de 15.63 m por 7.69 m con un espesor 11.8 mm, se realiza el cálculo del diámetro del ciclón tomando como perímetro la longitud de la plancha ya que así cumple con la relación de altura de la parte cilíndrica del ciclón.

FIGURA 30
DIAMETRO DEL CICLÓN



$$P = \pi * D_c \quad (5.15)$$

$$D_c = \frac{P}{\pi} = \frac{15.63 \text{ m}}{\pi}$$

$$D_c = 4.98 \text{ m}$$

Donde:

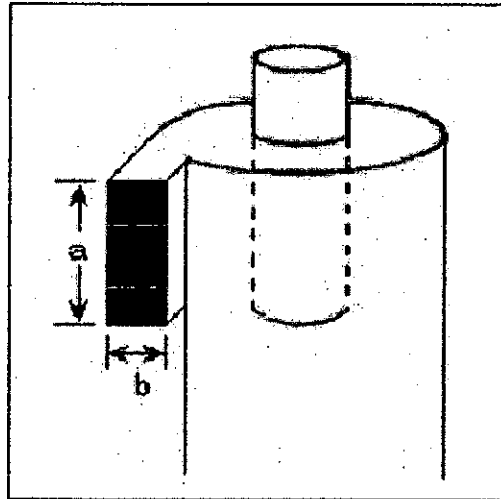
P = Longitud de la plancha.

D_c = Diámetro del ciclón.

Con las relaciones de la tabla de las características de los ciclones se procede a dimensionar las partes constructivas del ciclón.

2.- Altura y ancho de entrada:

FIGURA 31
ENTRADA DEL CICLON



$$a = D_c * 0.5 \quad (5.16)$$

$$a = 4.98 * 0.5$$

$$a = 2.49 \text{ m} \quad (\text{altura})$$

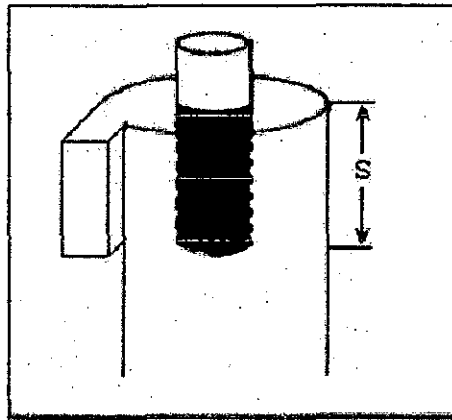
$$b = D_c * 0.2 \quad (5.17)$$

$$b = 4.98 * 0.2$$

$$b = 1 \text{ m} \quad (\text{ancho})$$

3.- Altura de salida:

FIGURA 32
ALTURA DE SALIDA DEL CICLON



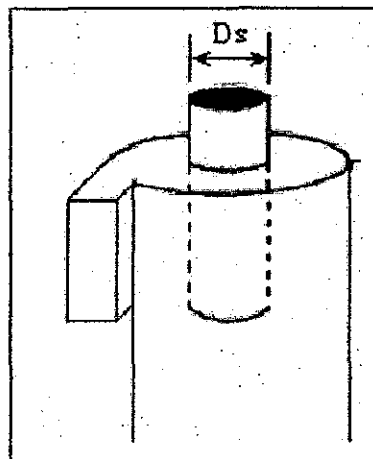
$$S = D_c * 0.5 \quad (5.18)$$

$$S = 4.98 * 0.5$$

$$S = 2.29 \text{ m}$$

4.- Diámetro de salida:

FIGURA 33
DIAMETRO DE SALIDA DEL CICLON



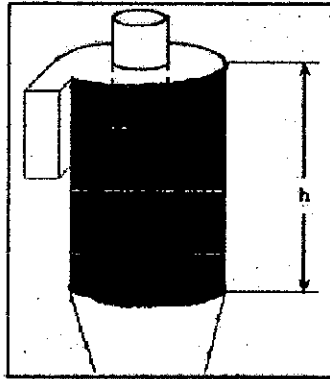
$$D_s = D_c * 0.5 \quad (5.19)$$

$$D_s = 4.98 * 0.5$$

$$D_s = 2.49 \text{ m}$$

5.- Altura parte cilíndrica:

FIGURA 34
ALTURA DEL CICLON



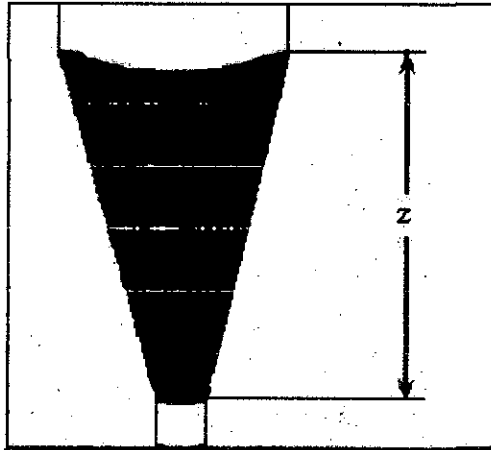
$$h = D_c * 1.5 \quad (5.20)$$

$$h = 4.98 * 1.5$$

$$h = 7.47 \text{ m}$$

6.- Altura parte cónica:

FIGURA 35
ALTURA PARTE CONICA



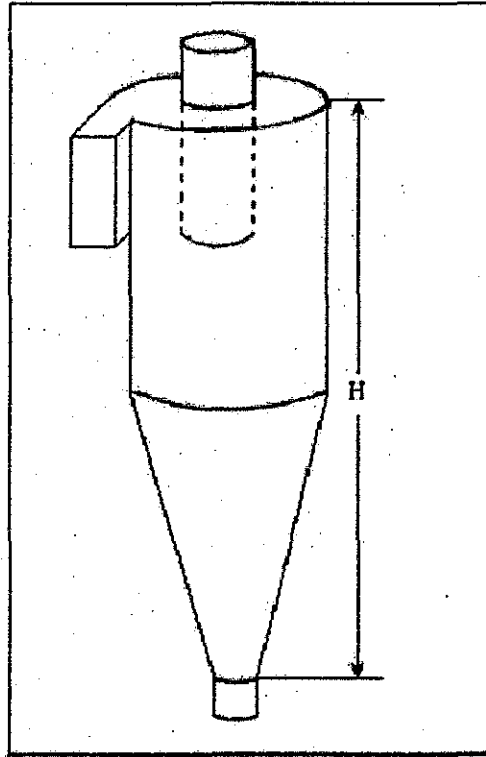
$$z = D_c * 2.5 \quad (5.21)$$

$$z = 4.98 * 2.5$$

$$z = 12.45 \text{ m}$$

7.- Altura total del ciclón:

FIGURA 36
ALTURA TOTAL DEL CICLON



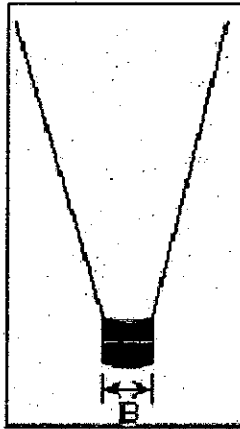
$$H = D_c * 4 \quad (5.22)$$

$$H = 4.98 * 4$$

$$H = 19.92 \text{ m}$$

8.- Diámetro de salida de partículas:

FIGURA 37
DIAMETRO DE LA SALIDA DE PARTICULAS



$$B = D_c * 0.375 \quad (5.23)$$

$$B = 4.98 * 0.375$$

$$B = 1.87 \text{ m}$$

9.- Caudal de la corriente de aire:

Diámetro = 0.25 m

Velocidad de entrada al ciclón = 10 m/seg (según de antecedente se asumimos)

$$Q = A * V \quad (5.24)$$

$$Q = (a * b) * V$$

$$Q = (2.49 * 1) * 10$$

$$Q = 24.9 \text{ m}^3/\text{seg}$$

10.- Velocidad equivalente: La velocidad equivalente es la que adquiere el material al ingresar a la parte cilíndrica del ciclón, relacionando las propiedades físicas del material como son la viscosidad, densidad tanto del gas portador

como de las partículas y la gravedad. El gas portador es el aire que de una u otra forma se encuentra con las partículas de la materia prima.

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_p - \rho)}{3 * \rho^2}} \quad (5.25)$$

Donde:

g = Gravedad.

ρ_p = Densidad de la partícula (densidad real) $\rightarrow 1650 \text{ Kg/m}^3$ (propiedad de la piedra caliza.

ρ = Densidad del gas portador $\rightarrow 1.127 \text{ Kg/m}^3$

μ = Viscosidad del gas portador $\rightarrow 1.9 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * (9.8) * (1.9 \times 10^{-5}) * (1650 - 1.127)}{3 * (1.127)^2}}$$

$$W = 0.685 \text{ m/seg}$$

11.- Velocidad de saltación: En los ciclones cuando se tiene una velocidad de entrada muy baja se produce la sedimentación de partículas y neutralizan el efecto de la fuerza centrífuga generando disminución en la eficiencia de colección; velocidades muy altas pueden resuspender partículas previamente colectadas, disminuyendo también la eficiencia.

Lo ideal es trabajar con velocidades de entrada lo suficientemente altas para aprovechar el efecto de la aceleración centrífuga, sin sobrepasar la velocidad que implica resuspensión del material ya colectado.

Por lo tanto la velocidad de saltación es una velocidad que toma en cuenta las dimensiones del colector en la entrada y el diámetro, la velocidad de entrada y la velocidad equivalente pues cuando la velocidad de entrada en esas condiciones es muy alta habrá saltación por lo que la velocidad de saltación es un parámetro

que se calcula para posteriormente sacar una relación con la velocidad de entrada evitando la resuspensión del material.

$$V_s = \frac{4.913 * W * Kb^{0.4} * D_c^{0.067} * \sqrt[3]{V_i^2}}{\sqrt[3]{1 - Kb}} \quad (5.26)$$

Donde:

V_s = Velocidad de saltación, m/seg

V_i = Velocidad de entrada del gas en el ciclón, m/seg

W = Velocidad equivalente, m/seg

Kb = Relación del ancho de entrada respecto al diámetro del ciclón

$$Kb = \frac{b}{D_c} = \frac{1}{4.98}$$

$$Kb = 0.2$$

$$V_s = \frac{4.913 * 0.685 * 0.2^{0.4} * 4.98^{0.067} * \sqrt[3]{10^2}}{\sqrt[3]{1 - 0.2}}$$

$$V_s = 9.84 \text{ m/seg}$$

Relación de velocidades:

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{10}{9.84}$$

$$\frac{V_i}{V_s} = 1.02$$

$$1.02 < 1.35$$

Donde:

V_s = Velocidad de saltación, m/seg

V_i = Velocidad de entrada del gas en el ciclón, m/seg

Al cumplir la relación de velocidad de entrada y velocidad de saltación podemos asegurar que no va a existir resuspensión del material.

12.- Factor de configuración: El factor de configuración resulta de relacionar algunas proporciones normalizadas por el diámetro del ciclón, depende del tipo de colector, es un factor que dimensiona las proporciones volumétricas del ciclón.

$G = 551.22$; según la tabla de las especificaciones del ciclón de alta eficiencia.

13.- Volumen del ciclón evaluado sobre la salida: Es el volumen de la parte cilíndrica del colector en la entrada, restado el volumen del ducto de salida.

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left(S - \frac{a}{2} \right) * (D_c^2 - D_s^2) \quad (5.27)$$

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left(2.29 - \frac{2.49}{2} \right) * (4.98^2 - 2.49^2)$$

$$V_{sc} = 15.27 \text{ m}^3$$

Donde:

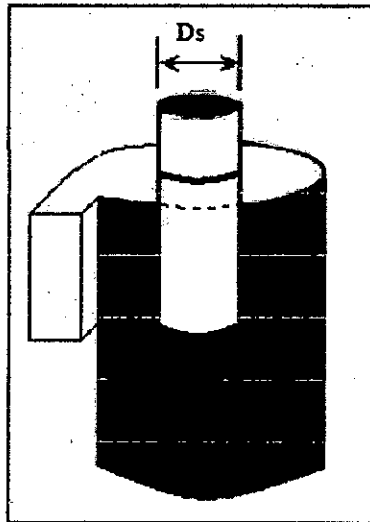
S = Altura del ducto de salida, m.

a = Altura de entrada, m

D_c = Diámetro del ciclón, m

D_s = Diámetro de salida, m

FIGURA 38
VOLUMEN DEL CICLON EVALUADO SOBRE LA SALIDA



14.- Longitud natural del ciclón: Es la longitud necesaria para iniciar el vórtice ascendente tomada desde la altura superior del ciclón.

$$L = 2.3 * D_s * \sqrt[3]{\frac{D_c^2}{a * b}} \quad (5.28)$$

$$L = 2.3 * 2.49 * \sqrt[3]{\frac{4.98^2}{2.49 * 1}}$$

$$L = 12.32 \text{ m}$$

Donde:

b = Ancho de entrada, m.

a = Altura de entrada, m.

D_c = Diámetro del ciclón, m.

D_s = Diámetro de salida, m.

Condición:

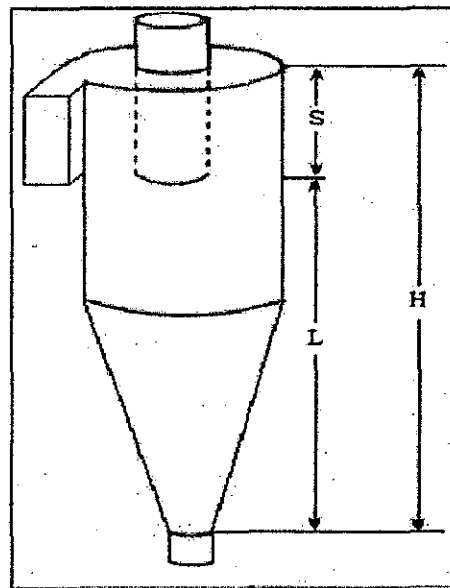
Para garantizar que se produzca el vórtice es necesario que la longitud natural sea menor a la altura total menos la altura del ducto de salida, pudiendo desarrollarse dicho vórtice sin que lo dificulte el ducto de salida.

$$L < H - S$$

$$12.32 < 19.92 - 2.29$$

$$12.32 < 17.63$$

FIGURA 39
LONGITUD NATURAL DEL CICLON



15.- Factor de dimensiones lineales: Depende del diámetro del ciclón, diámetro de la salida, altura del ducto de salida de aire, su altura natural, la altura de la parte cilíndrica del ciclón y de la altura de la parte cónica.

$$KL = D_c - (D_c - B) * \left(\frac{S + L - h}{z} \right) \quad (5.29)$$

$$KL = 4.98 - (4.98 - 1.87) * \left(\frac{2.29 + 12.32 - 7.47}{12.45} \right)$$

$$KL = 1.07 \text{ m}$$

Donde:

S = Altura del ducto de salida, m.

D_c = Diámetro del ciclón, m.

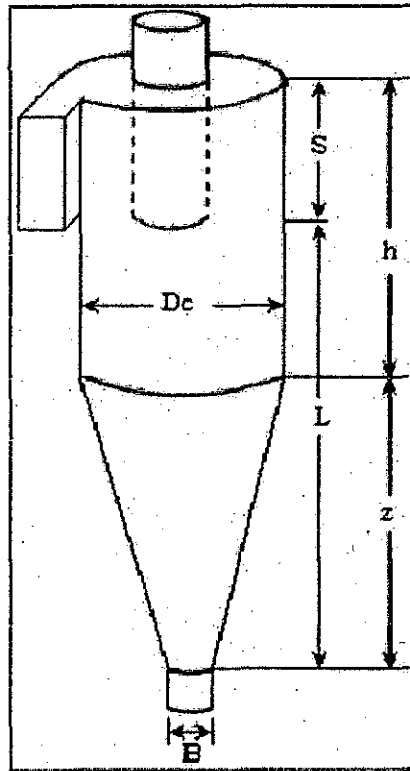
B = Diámetro de salida de partículas, m.

L = Longitud natural del ciclón, m.

h = Altura de la parte cilíndrica, m.

z = Altura de la parte cónica, m.

FIGURA 40
FACTOR DE DIMENSIONES LINEALES



16.- Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural: Es el volumen de todo el ciclón tomando en cuenta la longitud natural, es decir, se toma en cuenta la parte cónica como la cilíndrica.

$$VR = \frac{\pi}{4} * D_c^2 * (h - S) + \frac{\pi}{12} * D_c^2 (L + S + h) * \left[1 + \frac{KL}{D_c} + \left(\frac{KL}{D_c} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} * D_c^2 * L \quad (5.30)$$

$$VR = \frac{\pi}{4} * 4.98^2 * (7.47 - 2.29) + \frac{\pi}{12} * 4.98^2 (12.32 + 2.29 + 7.47) * \left[1 + \frac{1.07}{4.98} + \left(\frac{1.07}{4.98} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} * 4.98^2 * 12.32$$

$$VR = 41.71 \text{ m}^3$$

Donde:

S = Altura del ducto de salida, m.

D_c = Diámetro del ciclón, m.

B = Diámetro de salida de partículas, m.

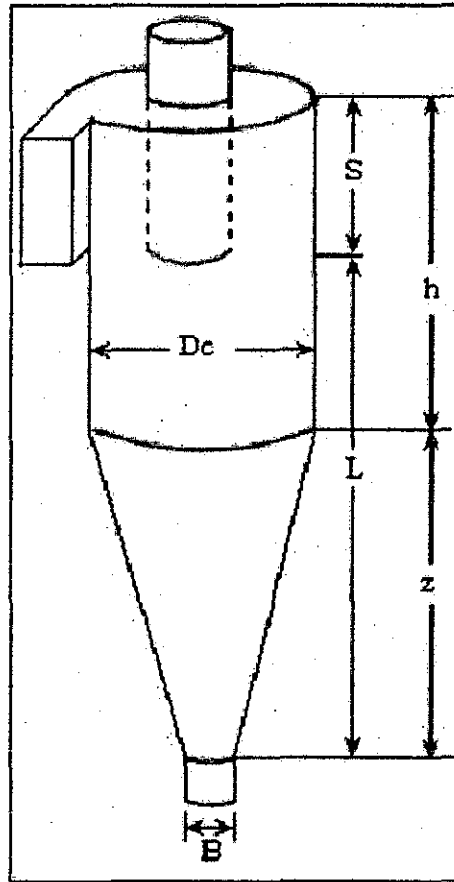
L = Longitud natural del ciclón, m.

h = Altura de la parte cilíndrica, m.

z = Altura de la parte cónica, m.

KL = Factor de dimensiones lineales, m.

FIGURA 41
VOLUMEN DEL CICLON EVALUADO SOBRE LA LONGITUD NATURAL



17.- Factor dimensional de las proporciones volumétricas:

Es el factor que relaciona tanto el volumen evaluado en la entrada como el evaluado en la salida con el diámetro del ciclón.

$$K_c = \frac{V_{sc} + \frac{VR}{2}}{D_c^3} \quad (5.31)$$

$$K_c = \frac{15.27 + \frac{41.71}{2}}{4.98^3}$$

$$K_c = 0.29 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{SC} = Volumen del ciclón evaluado sobre la salida, m^3

D_c = Diámetro del ciclón, m.

VR = Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural, m^3

18.- Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón:

$$K_a = \frac{a}{D_c} \quad (5.32)$$

$$K_a = \frac{2.49}{4.98}$$

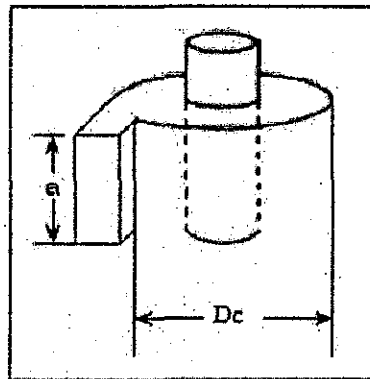
$$K_a = 0.5$$

Donde:

D_c = Diámetro del ciclón, m.

a = Altura de entrada, m.

FIGURA 42
RELACION ENTRE LA ALTURA DE ENTRADA Y EL DIAMETRO DEL
CICLON



19.- Relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón:

$$K_b = \frac{b}{D_c} \quad (5.33)$$

$$K_b = \frac{1}{4.98}$$

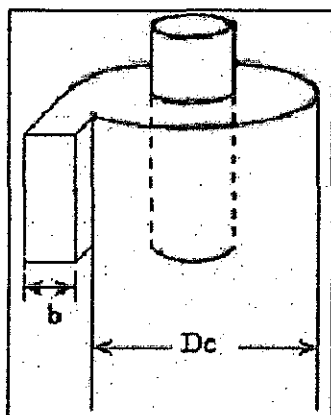
$$K_b = 0.2$$

Donde:

D_c = Diámetro del ciclón, m.

b = Ancho de entrada, m.

FIGURA 43
RELACION ENTRE LA BASE DE ENTRADA Y EL DIAMETRO DEL
CICLON



20.- Exponente del vórtice: Es la relación de la velocidad tangencial y el radio de giro de un movimiento en forma de vórtice. Pudiendo variar de 0.5 a 0.8 de acuerdo con el tamaño del ciclón y la temperatura.

$$n = 1 - (1 - 0.67 * D_c^{0.14}) \left(\frac{T}{283} \right)^{0.3} \quad (5.34)$$

$$n = 1 - (1 - 0.67 * 4.98^{0.14}) \left(\frac{313}{283} \right)^{0.3}$$

$$n = 0.83$$

Donde:

T = Temperatura de trabajo, °K.

D_c = Diámetro del ciclón, m.

21.- Tiempo de relajación: Es el tiempo necesario para que una partícula alcance la velocidad terminal de caída.

$$T_i = \frac{\rho_p * D_{pi}^2}{18 * \mu} \quad (5.35)$$

$$T_i = \frac{1650 * (2 \times 10^{-5})^2}{18 * 1.9 \times 10^{-5}}$$

$$T_i = 0.002 \text{ seg}$$

Donde:

D_{pi} = Diámetro de la partícula.

ρ_p = Densidad de la partícula; Kg/m^3

μ = Viscosidad del gas portador; $Kg/m * seg$

22.- Eficiencia fraccional por intervalo de trabajo: Es la eficiencia del ciclón evaluada para un tamaño de partícula.

$$n_i = 1 - e^{\left[-2 \left(\frac{G * T_i * Q * (n+1)}{D_c^3} \right)^{\frac{0.5}{n+1}} \right]} \quad (5.36)$$

$$n_i = 1 - e^{\left[-2 \left(\frac{551.22 * 0.002 * 24.9 * (0.83+1)}{4.98^3} \right)^{\frac{0.5}{0.83+1}} \right]}$$

$$n_i = 0.79$$

Donde:

G = Factor de configuración.

T_i = Tiempo de relajación para un tamaño i de partícula, seg.

Q = Caudal m^3/seg

n = Exponente del vórtice.

D_c = Diámetro del ciclón, m.

23.- Caída de presión: La caída de presión es un parámetro importante debido a que se relaciona directamente los costos de operación. La caída de presión en un ciclón puede deberse a las pérdidas a la entrada y salida, y pérdidas de energía cinética en el ciclón.

Las eficiencias de remoción en un ciclón se pueden aumentar al incrementar las velocidades de entrada, pero esto también incrementa las caídas de presión. A mayor pérdida de presión aumentan los requerimientos de potencia en el ventilador y por lo tanto mayor consumo de energía.

$$\Delta p = \frac{1}{2} * \rho * V_i^2 * NH \quad (5.37)$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} * 1.127 * 10^2 * 6.4$$

$$\Delta p = 360.64 P_a$$

$$360.64 P_a < 2486 P_a$$

ρ = Densidad del gas portador, Kg/m^3

V_i = Velocidad de entrada del gas en el ciclón, m/seg.

NH = Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón proveniente de la tabla de especificación de ciclones de alta eficiencia, es la relación entre el área de entrada para el

diámetro de la salida del ciclón al cuadrado multiplicado por una constante que para cada familia de ciclón es diferente que en este caso es 16.

24.- Intercambiador de ciclones: El dimensionado del intercambiador se centrará en el cálculo de los diámetros de cada ciclón, de la cámara de mezcla (pre-calcinación), tubería de salida de gases y el exhaustor.

Para el cálculo del diámetro de cada ciclón se emplea la fórmula desarrollada por el Instituto Gipracement (de la antigua URSS), puesto que son específicas para el empleo en la industria cementera. Esta fórmula es la siguiente:

$$D = 0.536 * \sqrt{\frac{(V_s)^2 * V_T * e}{\Delta p}} \quad (5.38)$$

Donde:

D = Diámetro del ciclón, m.

V_s = Volumen del gas que pasa por el ciclón, en m^3/seg

K = Concentración de partículas de crudo en los gases.

V_T = Peso específico del gas que pasa por el ciclón a una temperatura T.

$$V_T = \frac{273}{273 + T} + K \quad (5.39)$$

e = Coeficiente para pérdida de presión, que es de 110.

Δp = Pérdida de presión en el ciclón, en mm de agua.

La distribución de temperaturas (en °C) de los gases de cada tramo de un intercambiador se distribuyen, según el Manual Tecnológico del cemento de Walter H. Duda, como indica en la tabla N° 51.

TABLA 51
TEMPERATURA DE LOS GASES A LO LARGO DEL
INTERCAMBIADOR DE CICLONES (EN °C)

Tramo	Entrada	Salida	Tª media
IV	1000	820	910
III	820	670	745
II	670	530	600
I	530	330	430

*Fuente: Manual tecnológico del cemento

La pérdida de presión global por el paso de los gases a través del intercambiador, según indica Walter H. Duda, es de unos 550 mm de columna de agua. El par de ciclones del tramo IV son los que tienen mayor pérdida de carga, aproximadamente 150 mm de columna de agua. El resto se divide aproximadamente en 50 mm de columna de agua para cada ciclón, y 150 mm de columna de agua en las tuberías de conexión de un tramo con otro.

El volumen de los gases que atraviesan el ciclón a la temperatura media será:

$$V_s = V_a * \frac{273 + T}{273} \quad (5.40)$$

V_s = Volumen del gas que pasa por el ciclón, en m^3/seg

V_a = Volumen en condiciones normales de gases que pasan por el intercambiador de calor.

Según el balance de materia:

$$P * V = R * T * n \quad (5.41)$$

$$\frac{P}{R * T} = \frac{n}{V} \rightarrow \frac{1}{0.082 * 273} = \frac{n}{V}$$

$$V = \frac{n}{0.045}$$

Para los gases que entran a los ciclones son:

$$\text{CO}_2 \rightarrow V = \frac{9.91 \frac{\text{Kmol CO}_2}{\text{h}}}{0.045 \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^3}} = 220.22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{CO} \rightarrow V = \frac{2.48 \frac{\text{Kmol CO}}{\text{h}}}{0.045 \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^3}} = 55.11 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{H}_2\text{O} \rightarrow V = \frac{60.83 \frac{\text{Kmol H}_2\text{O}}{\text{h}}}{0.045 \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^3}} = 1351.78 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{O}_2 \rightarrow V = \frac{88.12 \frac{\text{Kmol O}_2}{\text{h}}}{0.045 \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^3}} = 1958.22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{N}_2 \rightarrow V = \frac{487.86 \frac{\text{Kmol N}_2}{\text{h}}}{0.045 \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^3}} = 10841.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$14426.66 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_s = V_o * \frac{273 + T}{273} \quad (5.40)$$

- Tramo I:

$$V_{430^\circ\text{C}} = 14426.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{273 + 430}{273} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 10.32 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Tramo II:

$$V_{600^\circ\text{C}} = 14426.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{273 + 600}{273} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 12.81 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Tramo III:

$$V_{745^\circ\text{C}} = 14426.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{273 + 745}{273} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 14.94 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Tramo IV:

$$V_{910^{\circ}\text{C}} = 14426.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{273 + 910}{273} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 17.37 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

En cada tramo pasan, según los cálculos realizados en el balance de materia, 2241.4 Kg por hora. Pasando este dato a Kg/s:

$$\frac{2241.4 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{seg}}{\text{h}}} = 0.62 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$$

Se obtiene la concentración de harina de crudo en cada tramo de intercambiador con la relación:

$$K = \frac{\text{Flujo másico de crudo en polvo}}{\text{Flujo volumétrico de gases}} \quad (5.42)$$

$$K_I = \frac{0.62 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{10.32 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 0.060 \frac{\text{Kg crudo}}{\text{m}^3 \text{ gas}}$$

$$K_{II} = \frac{0.62 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{12.81 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 0.048 \frac{\text{Kg crudo}}{\text{m}^3 \text{ gas}}$$

$$K_{III} = \frac{0.62 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{14.94 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 0.041 \frac{\text{Kg crudo}}{\text{m}^3 \text{ gas}}$$

$$K_{IV} = \frac{0.62 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{17.37 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 0.036 \frac{\text{Kg crudo}}{\text{m}^3 \text{ gas}}$$

Una vez calculados todos los datos, se aplica la fórmula para hallar el diámetro de cada ciclón.

El tramo I está compuesto por dos ciclones simétricos. El volumen de gases que atraviesa dicho tramo habrá que dividirlo entre dos, obtenido de este modo el volumen de gases en m^3/s que pasa por cada uno de los ciclones.

$$D = 0.536 * \sqrt[4]{\frac{(V_s)^2 * V_T * e}{\Delta p}} \quad (5.38)$$

$$D_I = 0.536 * \sqrt[4]{\frac{(5.16)^2 * \left(\frac{273}{273 + 430} + 0.060\right) * 110}{150}} = 0.92 \text{ m}$$

$$D_{II} = 0.536 * \sqrt[4]{\frac{(12.81)^2 * \left(\frac{273}{273 + 600} + 0.048\right) * 110}{50}} = 1.81 \text{ m}$$

$$D_{III} = 0.536 * \sqrt[4]{\frac{(14.94)^2 * \left(\frac{273}{273 + 745} + 0.041\right) * 110}{50}} = 1.88 \text{ m}$$

$$D_{IV} = 0.536 * \sqrt[4]{\frac{(17.37)^2 * \left(\frac{273}{273 + 910} + 0.036\right) * 110}{50}} = 1.96 \text{ m}$$

Dado que los fabricantes construyen siempre los ciclones del tramo II, III y IV de igual diámetro, se elegirá el diámetro medio de los diámetros mencionados:

$$D_m = \frac{1.81 + 1.88 + 1.96}{3} = 1.88 \text{ m}$$

A los diámetros internos calculados hay que sumarle el espesor del refractario, que en este caso es de 3 cm, por tanto los diámetros quedan de la siguiente manera:

$$D_I = 0.92 \text{ m} + (0.03 * 2) \text{ m} = 0.98 \text{ m}$$

$$D_m = 1.88 \text{ m} + (0.03 * 2) \text{ m} = 1.94 \text{ m}$$

25.- Cálculo de las tuberías: El cálculo de la sección de la tubería que conecta los ciclones de cada tramo, se realiza en función del volumen de gases que lleva y su velocidad, que es de unos 21 m/s, según Walter H. Duda.

A través de esta gran velocidad se consigue que el crudo que se dosifica en los tramos inferiores de éstas tuberías suba arrastrado por la corriente de gas al ciclón inmediatamente superior.

La sección de cada tramo vendrá dada por el cociente entre el volumen de gases a la temperatura media que circulan por la tubería y la velocidad de dichos gases.

- Tramo I:

$$\frac{10.32 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{21 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.49 \text{ m}^2$$

- Tramo II:

$$\frac{12.81 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{21 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.61 \text{ m}^2$$

- Tramo III:

$$\frac{14.94 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{21 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.71 \text{ m}^2$$

- Tramo IV:

$$\frac{17.37 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{21 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.83 \text{ m}^2$$

26.- Refractario del intercambiador de ciclones: En la Tabla N° 52 se muestra los detalles del material refractario en todo el sistema de clinkerización:

TABLA 52
MATERIALES UTILIZADOS COMO REFRACTARIOS EN EL
INTERCAMBIADOR

Partes del sistema	Refractarios necesarios	Temperatura máx.	Formación costra	Desconchamiento	Abrasión	Ladrillo aislante	Ataque químico	Choque térmico
Intercambiador (cilindros y ductos)	Sílico-Aluminoso 30 % Al_2O_3	1.000° C	Indeseada	No	Exigente	Si	Escaso	Suave
Camara de enlace	Sílico-Aluminoso 35 % Al_2O_3	1.200° C	Indeseada	No	Muy exigente	Si	Considerable	Considerable
Anillo de entrada	Sílico-Aluminoso 35 % Al_2O_3	1.200° C	Adherencias	No	Muy exigente	Si	Posible	Considerable
Zona de descarbotación o calcinación	Sílico-Aluminoso 35-50 % Al_2O_3	1.250° C	Delgada	No	Poca	Si	Posible	Considerable
Zona de Transición o Nodulización	Sílico-Aluminoso y Alta Alúmina (50-75 % Al_2O_3) Cromo-Magnesita (30-60 % de MgO)	1.350° C	Probable	Si	Muy poca	No	Probable	Exigente
Zona de Clinkerización o Crítica	Dolomita o Cromo Magnesita (60-80 % de MgO)	1.550° C	Necesaria e importante	Si	Exigente	No	Muy exigente	Muy exigente
Zona de Enfriamiento	Cromo-Magnesita 60 % Mg y Alta Alúmina (70 % Al_2O_3)	1.350° C	Necesaria	Si	Muy Exigente	No	Exigente	Muy exigente
Anillo de salida	Ladrillos extra-duros aluminosos (50-70 % Al_2O_3)	1.250° C	Escasa	Si	Muy exigente	No	Escaso	Exigente
Cabezal del Horno	Ladrillos, castables o plásticos refractarios (50 % Al_2O_3)	1.200° C	No	Si	Exigente	Si	Escaso	Exigente
Caida de material al Enfriador	Resistentes al impacto 50 % Al_2O_3	1.200° C	Aglomeración	Si	Muy exigente	Si	Escaso	Probable
Enfriador	Sílico-Aluminoso (50-30 % Al_2O_3)	1.100-400° C	No	No	Exigente	Si	Raro	Suave

5.1.3.9.- Diseño y cálculo del horno rotatorio:

1.- Cálculo del diámetro del horno:

$$Q = 3.14 * 10^6 * D_i^3 \quad (5.43)$$

$$13595515.74 = 3.14 * 10^6 * D_i^3$$

$$D_i = 1.63 \text{ m} = 163 \text{ cm}$$

Q = Caudal de calor que se introduce por hora (Kj/h)

2.- Cálculo del diámetro exterior: Para hallar el diámetro externo se debe de tener en cuenta el espesor de la chapa del horno y también el espesor del recubrimiento del refractario. Para este diámetro interior se toma en cuenta los siguientes espesores:

$$e_{\text{chapa}} = 26 \text{ mm} ; e_{\text{refractario}} = 59 \text{ mm}$$

$$D_e = D_i + e_{\text{chapa}} + e_{\text{refractario}} \quad (5.44)$$

$$D_e = 163 + 2.6 + 5.9$$

$$D_e = 171.5 \text{ cm}$$

3.- Longitud del horno: Para calcular la longitud del horno se emplea la fórmula obtenida por Frankenberger para hornos con intercambiador

$$L = 12.7 * D_i^{1.2} \quad (5.45)$$

$$L = 12.7 * 1.63^{1.2}$$

$$L = 33.74 \text{ m}$$

4.- Pendiente del horno y grado de llenado: La pendiente para hornos de menos de 3 m de diámetro es aproximadamente de 1.35° , que a su vez corresponde a un 3%. Este 3% se calcula teniendo como referencia que el 100% son 45° y por tanto L_H , que es la altura del extremo de entrada del material respecto a la horizontal es de:

$$L_H = \sin 1.35 * L \quad (5.46)$$

$$L_H = \sin 1.35 * 33.74$$

$$L_H = 0.79 \text{ m} = 79 \text{ cm}$$

Las pendientes pequeñas requieren velocidades más altas y esto ofrece la ventaja de favorecer la mezcla del material originando un intercambio de calor más intenso. También, si la inclinación es pequeña, se alcanza un grado de llenado más alto.

Como fruto de la experiencia de explotación de hornos rotatorios, se ha obtenido que las pendientes de los hornos que se indican a continuación corresponden a los grados de llenado marcados como óptimos que de muestran en la tabla N° 53.

TABLA 53
RELACION ENTRE LA PENDIENTE DE UN HORNO ROTATORIO Y
SU GRADO DE LLENADO

Pendiente del horno %	Grado de llenado correspondiente
4.50 %	9 %
4.00 %	10 %
3.50 %	11 %
3.00 %	12 %
2.50 %	13 %

*Fuente: Lección del cemento

El material ocupa un segmento de la sección del horno rotatorio. A la relación entre el área de este segmento y la sección total del horno se le llama grado de llenado del horno y como puede observarse en la tabla anterior, corresponde aproximadamente al 12%.

5.- Velocidad angular (n° de vueltas al horno): La velocidad periférica óptima está entre los 36 y 40 cm/s. Para el caso que se está desarrollando, se ha elegido la más pequeña puesto que favorece la correcta transmisión de calor. Por tanto la velocidad a la que gira el horno es de:

$$v_H = \frac{v_p}{\text{perímetro}} = \frac{v_p}{\pi * D_i} \quad (5.47)$$

$$v_H = \frac{0.36 \frac{m}{s}}{\pi * 1.63m} * 60 \frac{s}{min}$$

$$v_H = 13.25 \text{ rpm}$$

v_p = Velocidad periférica

v_H = Velocidad angular en rpm

6.- Velocidad del material dentro del horno: Para conocer el tiempo de paso y la velocidad del material dentro del horno es preciso conocer el ángulo dado por la inclinación y el movimiento del horno:

$$\sin \alpha = \frac{\sin v}{\sin \rho} \quad (5.48)$$

v = Es la inclinación, que es de un 3% que le corresponde un ángulo de 1.35°

ρ = Es el ángulo de caída del material en el horno, que es de 43.65°

$$\sin \alpha = \frac{\sin 1.35^\circ}{\sin 43.65^\circ}$$

$$\sin \alpha = 0.034$$

$$\alpha = 1.95^\circ$$

La velocidad del material dentro del horno viene dada por la siguiente expresión:

$$u = \pi * D_i * n * \tan \alpha \quad (5.49)$$

Siendo:

u = Velocidad del material, en m/min

D_i = Diámetro interno del horno.

n = Número de rpm.

α = Ángulo de la dirección del movimiento resultante del material.

Por lo que se obtiene:

$$u = \pi * 1.63 * 13.25 * \tan 1.95^\circ$$

$$u = 2.31 \text{ m/min}$$

7.- Tiempo de permanencia: El tiempo en que el material permanece dentro del horno se calcula de la siguiente manera:

$$t = \frac{L}{u} \quad (5.50)$$

$$t = \frac{33.74 \text{ m}}{2.31 \frac{\text{m}}{\text{min}}}$$

$$t = 14.61 \text{ min}$$

8.- Sistema de accionamiento del horno rotatorio: La puesta en rotación del horno puede asegurarse de dos maneras:

- Horno de 3 apoyos y más: por medio de uno o dos grupos de accionamiento en los que un piñón ataca una corona dentada fijada sobre la virola.
- Horno de 2 apoyos: bien por medio de un grupo de accionamiento en los que un piñón ataca una corona dentada fijada sobre la virola o bien directamente por medio de uno o dos rodillos de una estación de rodadura, ellos mismos accionados por dos o cuatro motores electrohidráulicos o electromecánicos.

El sistema de accionamiento comprende un engranaje en dos piezas que rodea la virola (corona dentada) y los piñones (uno para los hornos pequeños, dos para los hornos grandes), ambos engranajes con acoplamientos, embragues, trenes de engranajes como reductores de velocidad y sus motores. El accionamiento del horno debe ser capaz de afrontar todas las situaciones de trabajo, incluyendo los casos extremos.

FIGURA 44
HORNO a) TRES APOYOS b) DOS APOYOS

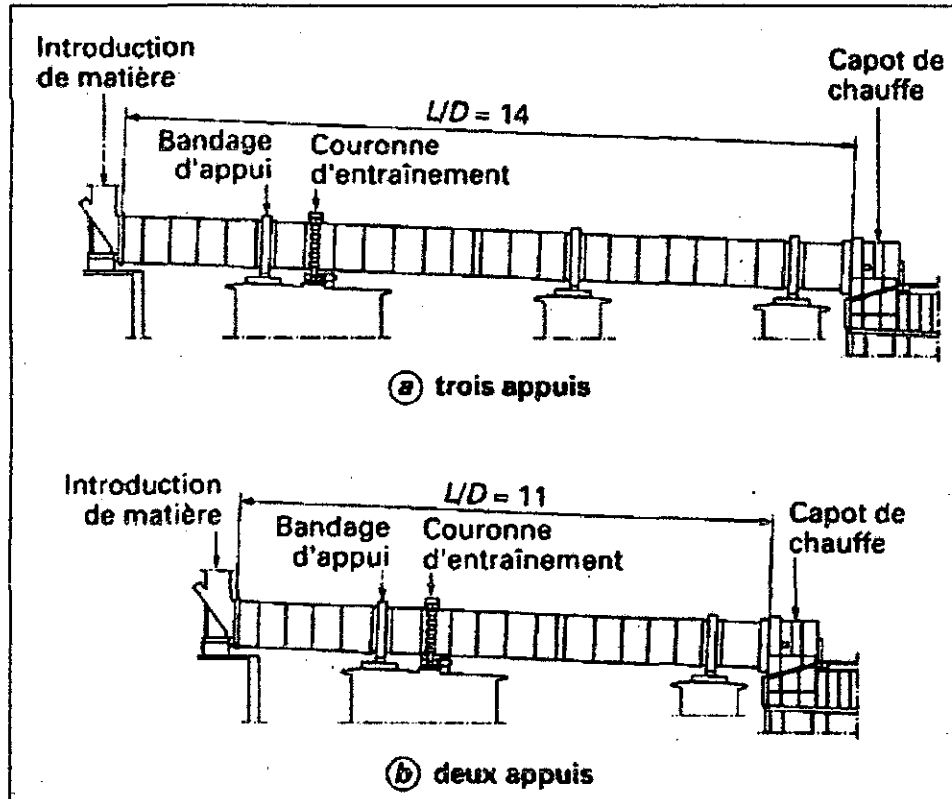


FIGURA 45
CONJUNTO DE ACCIONAMIENTOS DE UN HORNO ROTATORIO

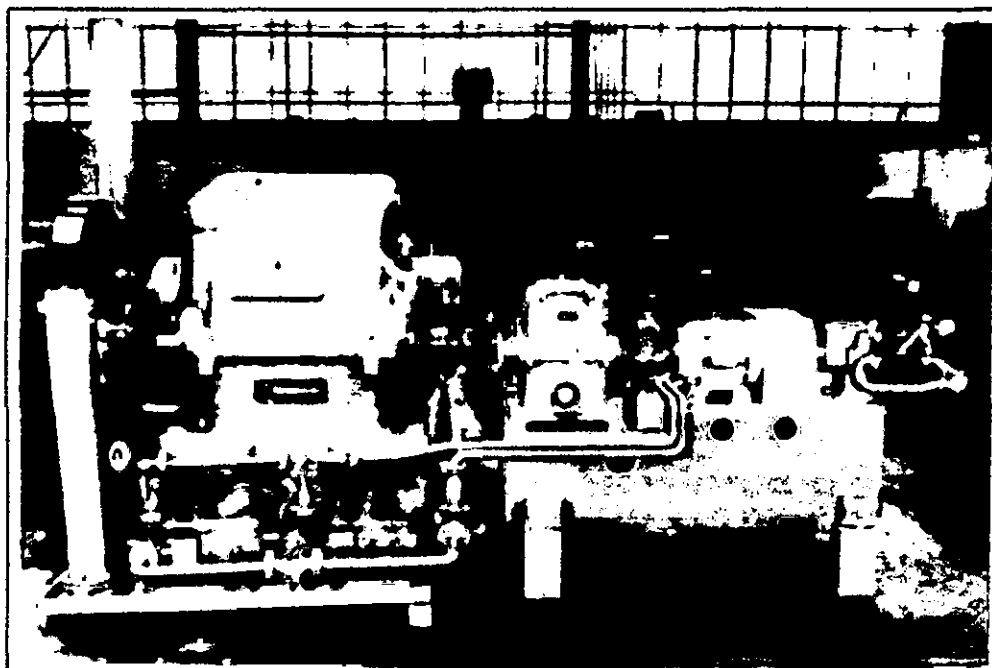
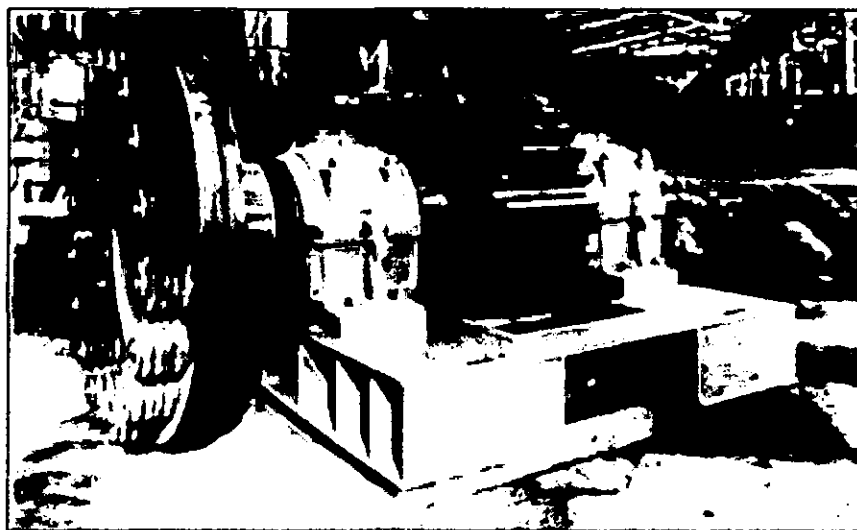


FIGURA 46
PIÑON DE ACCIONAMIENTO DE UN HORNO Y SU MONTAJE



La corona dentada y su(s) piñón(es) van envueltos por una caja de plancha de acero estanca para el aceite y el polvo. En los hornos pequeños se aplica la lubricación por cucharas, en los mayores se usa lubricación atomizada por medio de inyectores. Motor principal: velocidad variable, corriente continua - tiristor, con capacidad próxima a 100 % de la exigencia de energía teórica.

La función del Motor auxiliar consiste en poder imprimir al horno, en caso de fallos de energía, un movimiento de rotación continuo (a velocidad reducida), a falta del motor principal. En las fábricas de cemento, donde se dispone de un suministro auxiliar de energía para dichas eventualidades, el motor auxiliar puede ser de corriente alterna trifásico, en otros casos se emplea un motor de combustión interna (diésel o de gasolina) dispuesto para una rápida puesta en marcha.

En vez de engranajes, se han empleado a veces sistemas de accionamiento óleo-hidráulico en los hornos rotativos, pero no alcanzaron gran aceptación. Con el fin de evitar los movimientos de deslizamientos de sube y baja de los aros de rodadura sobre los rodillos el guiado axial del horno está asegurado por uno o dos topes hidráulicos, las cuales imprimen al horno un movimiento axial limitado, con el fin de repartir de manera uniforme el desgaste sobre toda la superficie de los rodillos soporte.

Si el horno estuviera horizontal, los ejes de los rodillos de apoyo, del aro de rodadura y del horno podrían estar paralelos y el horno estaría en posición. Sin embargo, para que el material a cocer avance en el horno es necesario darle una inclinación de unos grados, de tal modo que es preciso compensar la componente que tiende a hacer descender el horno por un esfuerzo de sentido opuesto aportado sobre los aros de rodadura. Dicho esfuerzo esta suministrado mediante:

- El no paralelismo entre los ejes de los rodillos de apoyo y el eje del horno.
- Un rodillo empujador.

El reglaje entre el aro de rodadura y los rodillos soportes debe permitir el desplazamiento del horno de 40 a 60 mm en los dos sentidos. La duración de la subida del horno será del orden de 8 a 24 horas, mientras que la del descenso será de 4 a 8 horas.

En los hornos pequeños, con rodillos del tamaño correspondiente, se dispone el último par formando sus ejes un pequeño ángulo con el eje del horno en vez de mantenerse paralelos con él. No obstante, actualmente, en los grandes hornos, los ejes de los rodillos se emplazan paralelamente al horno en una disposición que permita al horno realizar continuamente movimientos de sube y baja, evitándose, de este modo, que los aros no se apoyen oblicuamente sobre los rodillos y no se formen en ellos surcos o deformaciones laterales. Según que el horno rotatorio este equipado o no de rodillos empujadores el principio del reglaje será diferente. Sin rodillos empujadores, los ejes de los rodillos soporte están orientados, con respecto al eje del horno de manera de hacerlo subir. Cuando se llega a la posición más alta, la puesta en acción de un engrasador es suficiente para hacer descender el horno. La figura 47 esquematiza, para hornos girando en el sentido de las agujas de un reloj y en el sentido contrario, la dirección en que deben ponerse los rodillos soporte para permitir el movimiento ascendente del horno.

Los riesgos de daños ligados a un control insuficiente del movimiento de descenso, así como desgastes en forma de diábolo de los rodillos y en forma de tonel de los aros de rodadura, han conducido a la utilización de rodillos de empuje axial, los cuales permiten controlar la amplitud de los desplazamientos. En este caso, los ejes de los rodillos soporte (de apoyo) están reglados paralelamente al eje del horno y el descenso del horno está provocado por su inclinación con respecto a la horizontal. El movimiento de subida lo realizan los rodillos de empuje axial accionados por gatos hidráulicos según un programa bien definido y dominado. El descenso está controlado por la descarga programada del sistema hidráulico.

FIGURA 47
RODILLOS DE EMPUJE AXIAL

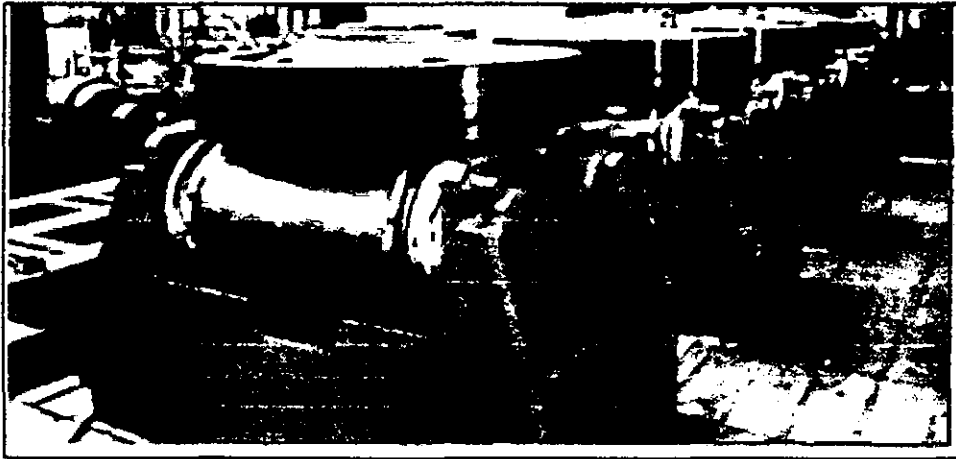
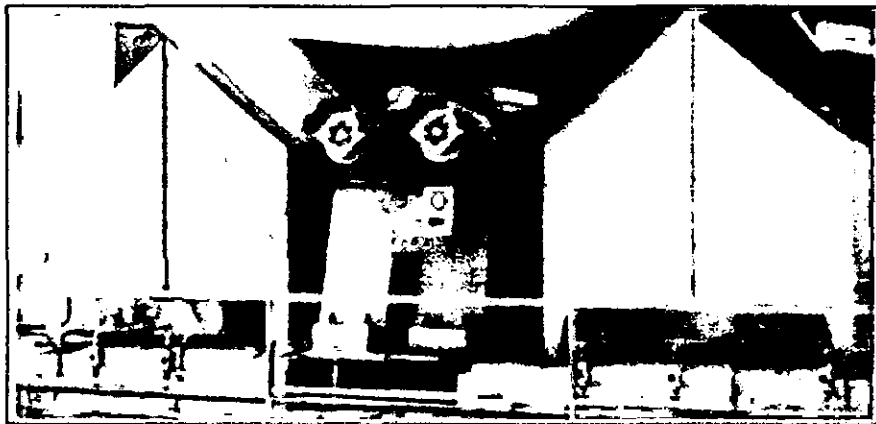


FIGURA 48
RODILLOS DE EMPUJE AXIAL MONTADOS



9.- Enfriadores del Clinker. El enfriador tradicional consiste en una carcasa fija en sus paredes de ladrillo refractario, puede estar constituida por una o dos mesas de parrillas de movimiento recíproco las cuales tiene varias hileras de placas de orificio, unas movibles y otras fijas que descargan el Clinker en compartimientos dispuestos a lo largo del enfriador. El enfriador dispone de varios ventiladores conectados a cada compartimiento para el enfriamiento de las placas y del Clinker.

9.1.- El enfriador de parrillas de vaivén REPOL: Se basa en el concepto de escalonamiento, con una cama de Clinker cuyo espesor aumenta en sentido de la dirección del transporte, está equipado con placas tipo Jet-ring para su distribución en la parrilla. La principal característica de las placas Jet-ring son dos canales anulares de aire, desde los cuales se aporta el aire frío a la cama de Clinker.

La eficiencia esperada del enfriador por sus características de diseño es:

- Producir una buena calidad de Clinker mediante un rápido enfriamiento inicial.
- Recuperar en este proceso la mayor cantidad posible de calor.
- Enfriar el Clinker a una temperatura final adecuada.

El enfriador se divide en tres zonas perfectamente adaptadas cada una de ellas a los diferentes cambios de temperatura y de trabajo.

- a) Zona de carga del enfriador: Aquí se trata de uniformizar rápidamente el Clinker procedente del horno y airearlo de forma intensiva, esto se consigue por el comportamiento de transporte de las filas de parrillas que tiene una pendiente de cuatro grados y por placas Jet-ring ejecutadas con canto grueso de empuje.
- b) Zona de recuperación: La finalidad es recuperar el calor para devolverlo al horno como aire secundario. La superficie horizontal de enfriamiento en esta zona de carga está equipada con placas jet-ring con cantos finos de empuje.
- c) Zona de enfriamiento posterior: El material es enfriado a la temperatura final deseada, determinada por el tiempo de permanencia del Clinker y el caudal total del aire.

FIGURA 49
ENFRIADOR DE PARRILLAS TIPO REPOL

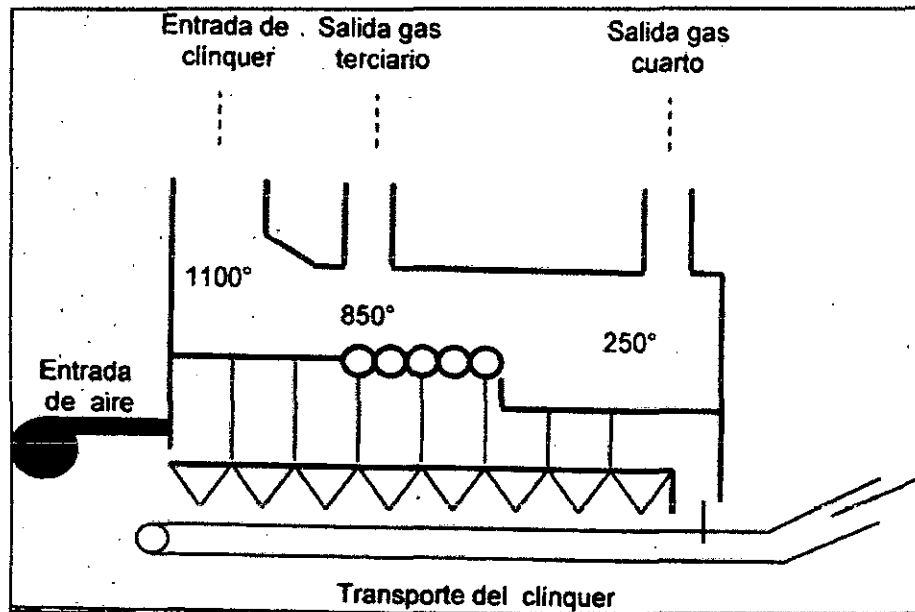
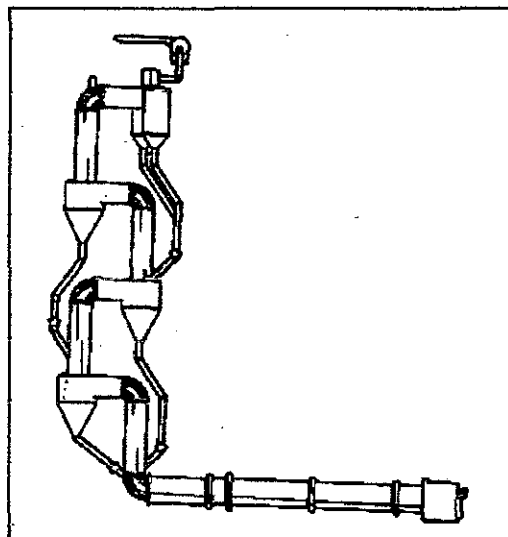


FIGURA 50
DISEÑO DE UN HORNO ROTATORIO CON SISTEMA DE PRE-CALCINACION DE 4 CICLONES



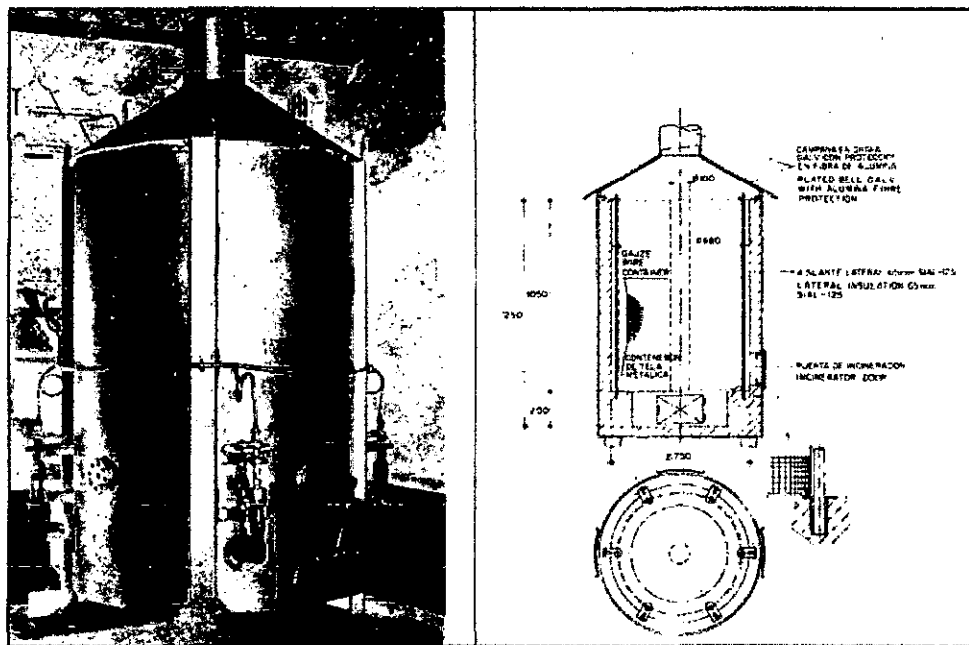
5.1.4.- Diseño y cálculo del horno para calcinar cáscara de arroz:

5.1.4.1.- Descripción de un horno piloto: Tras un período de trabajo en el laboratorio, al objeto de delimitar los parámetros básicos de la combustión de la cáscara de arroz se procedió a diseñar un horno piloto que permitiese conseguir simultáneamente dos condiciones:

- a) Reproducir con cierta precisión a determinadas condiciones controlables de combustión y enfriamiento.
- b) Capacidad de consecución de ceniza suficiente para la realización de ensayos de morteros y hormigones previstos.

En las siguientes figuras 96 con capacidad para 370 litros, lo que supone aproximadamente unos 45 kg de cáscara. Mediante cuatro quemadores de gas butano, de los que en la práctica sólo se utiliza uno, y durante un corto período de tiempo, se inicia la combustión de la cáscara, instante en el que se interrumpe la aportación energética externa. Mediante tres orificios situados en el cuerpo del horno partes baja, media y alta y con ayuda de un termopar de tipo TDA_t, capaz para el campo comprendido entre 60° y + 1.200° C, se han controlado las temperaturas del horno.

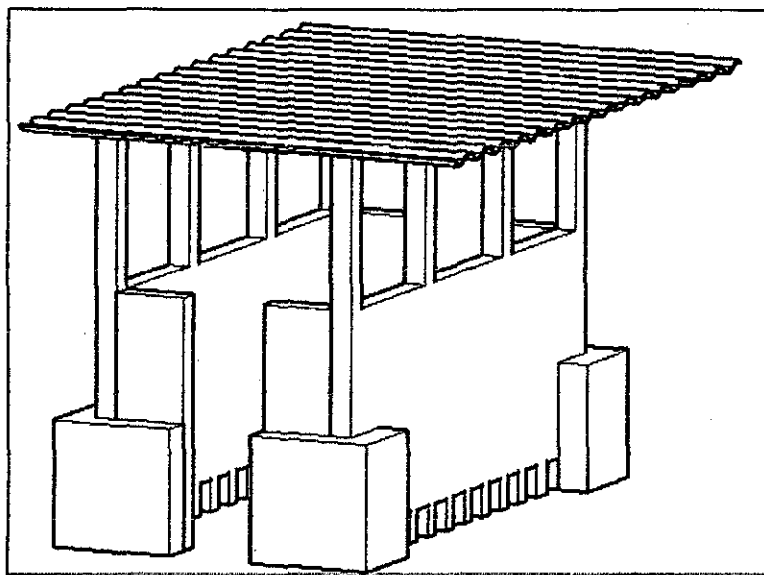
FIGURA 51
DISEÑO DEL HORNO PARA CALCINAR CASCARA DE ARROZ



En base a la práctica semi-industrial, en India, Nepal y Pakistán, descrita por R. Smith, se plantea la necesidad de limitar la temperatura de combustión de la cáscara a 700°C para obtener ceniza amorfa que pueda ser reactiva con la cal. Ello tiene como contrapartida la necesidad de tiempo de molienda grande de tres a cinco horas ya que, como el autor citado afirma, las cenizas especialmente quemadas son más blandas que las quemadas a menores temperaturas y por tanto necesitan menos tiempo de molienda.

La práctica más generalizada a base de combustiones de cáscara a temperaturas de aproximadamente 850°C , durante unas dos horas, muestran la presencia de sílice en una base cristalina de cuarzo. Igualmente muestra que la sílice permanece en estado amorfo cuando las temperaturas permanecen entre 450 a 700°C durante 3 a 4 horas. Dado que las formas cristalinas presentan menor reactividad que las amorfas, es esencial que la combustión de la cáscara no supere temperaturas muy elevadas (del orden de 900°C).

FIGURA 52
DISEÑO DE UN HORNO RUSTICO PARA CALCINAR CASCARA DE
ARROZ



5.2.- DISEÑO DE LOS EQUIPOS SECUNDARIOS:

5.2.1.- Diseño y cálculo de un filtro prensa:

La filtración es una operación, en la que una mezcla heterogénea de un fluido y de las partículas de un sólido se separa en sus componentes, gracias al concurso de un medio filtrante que permite el paso del fluido, pero retiene las partículas del sólido.

En todos los tipos de filtración, la mezcla o lodo fluye debido a la acción impulsora, como la gravedad, la presión (o el vacío) o la fuerza centrífuga. El medio filtrante retiene y soporta a las partículas sólidas que van formando una torta porosa sobre la que se superponen estratos sucesivos a medida que el líquido va atravesando la torta y el medio filtrante.

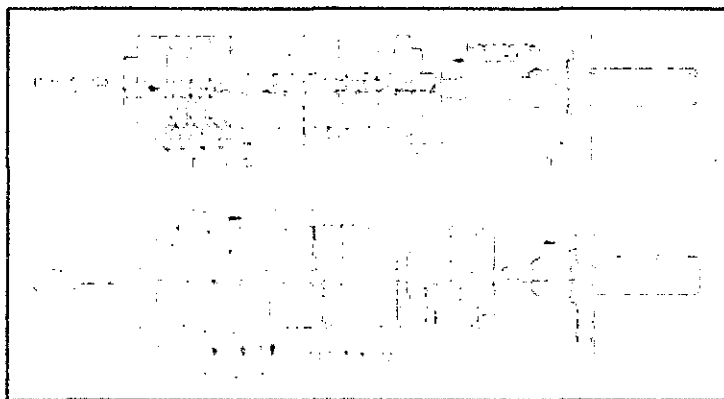
5.2.1.1.- Descripción del funcionamiento del filtro prensa: El principio del Filtro Prensa está basado en el hecho de que la presión necesaria para la filtración se distribuye uniformemente dentro del sistema. El filtro prensa está formado por una cabeza móvil que ejerce la presión entre las placas y otro fijo por el que penetra el líquido fangoso a una determinada presión. Entre ambos se sitúan las

cámaras, formadas por placas y marcos o por placas con cámara incorporada. Las placas se cubren con tejidos filtrantes, que en los marcos de las mismas hacen de juntas de estanqueidad y en el centro forman un conjunto de espacios huecos, que se alimentan con la suspensión a filtrar mediante una bomba.

Mediante un dispositivo de cierre mecánico o hidráulico se mantienen en compresión las placas merced al cabezal móvil, mientras a través del cabezal fijo se inyecta a presión el líquido que discurre entre las placas a través de un hueco central abierto en las mismas, formándose un conducto continuo por el que la solución fangosa va filtrándose a las cámaras, formando el volumen de la torta. El agua filtrada pasa a través de unos orificios de drenaje previstos en la parte inferior de las placas y es evacuada individualmente en cada placa hasta un canal exterior de recogida, en el que se mantiene un determinado volumen.

A medida que se va secando la torta de fango, el caudal de filtrado disminuye hasta un mínimo, entonces un dispositivo eléctrico interrumpe la bomba, de forma que se interrumpe el flujo. Una vez despresurizado el sistema, el cilindro de presión se desplaza, merced al espacio libre creado por la carrera de apertura, separándose las placas (generalmente mediante una cadena de AISI 304 que las une entre sí), hasta haber entre ellas unos 60 mm de separación, en ese momento se acciona un motor que hace girar un eje que incorpora unas levas, las cuales actúan sobre las manguetas de las placas filtrantes (elevándolas y soltándolas) colaborando a que la torta ya seca, se desprenda totalmente.

FIGURA 53
FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO PRENSA



5.2.1.2.- Construcción convencional de un filtro prensa: El sistema motriz está formado por:

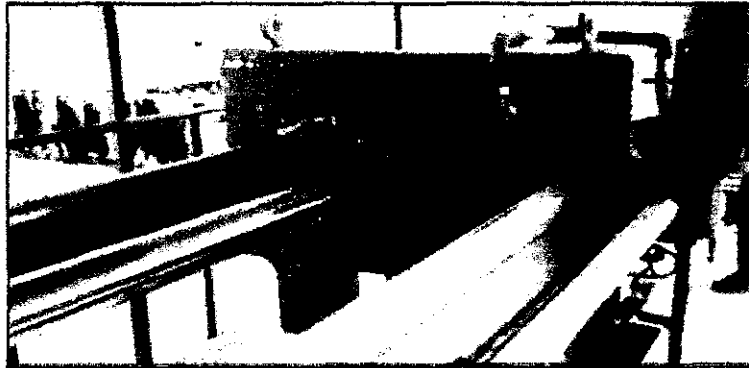
- Sistema hidráulico.
- Cabezal móvil.
- Ruedas y largueros laterales.

El sistema de accionamiento del equipo es hidráulico, formado por una central y un cilindro de doble efecto, totalmente automático, teniendo la posibilidad de hacerlo manualmente. La presión de servicio del filtro prensa será de 16 bars, dando la central una presión máxima de 150 bars lleva un pistón rectificado, bruñido y cromado calculado para soportar la presión de cierre del filtro. El pistón está situado en el centro del cabezal móvil y reparte uniformemente la fuerza del cierre, a través de una pieza móvil que se desliza mediante ruedas de nylon sobre unos largueros laterales. La pieza móvil está conectada de forma articulada al vástago del cilindro hidráulico.

El cabezal móvil se construye de macizo, sin espacios huecos para evitar penetraciones y por tanto corrosiones incontrolables. El pistón está construido en acero F-1 14 (cromo duro) y el tubo hidráulico en acero ST-52.3. Los largueros laterales están formados por barra calibrada de acero A42-b de diámetro adecuado, en función de la longitud y el esfuerzo del filtro, con camisa de

rodadura de acero inoxidable. Además de servir de soporte al deslizamiento de las placas, unen los bastidores extremos.

FIGURA 54
TUBO HIDRAULICO DE LA CABEZA MOVIL DEL FILTRO PRENSA



5.2.1.3.- Placas filtrantes y telas: El número de placas viene determinado por el caudal de fango previsto, estando construidas en polipropileno isostático de alto peso molecular. Vienen provistas de deslizaderas laterales para su apoyo en los tirantes de la estructura soporte, así como de tetones para sujetar la malla filtrante. Todas las placas disponen de un circuito interior por el que se evacua el agua filtrada, terminando este circuito en un tubo acodado en el lateral de la placa por el que se vierte a la canaleta lateral.

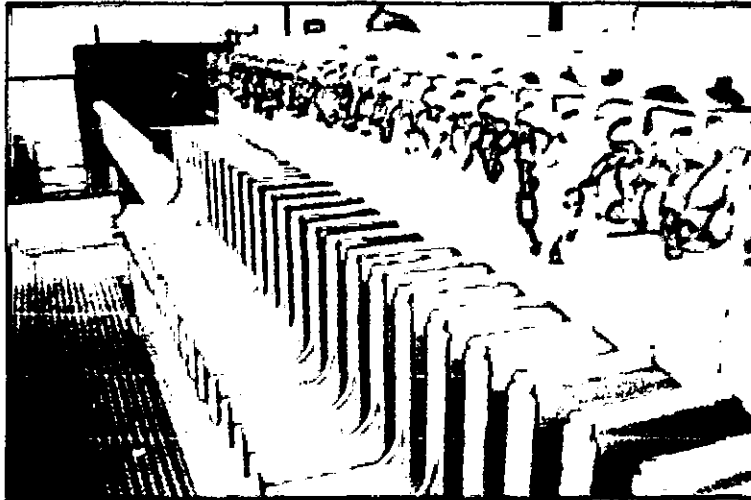
Todas las placas van unidas entre sí por medio de cadenas y fijadas con las mismas en sus extremos al bastidor de entrada y a la pieza móvil de presión. Cuando se abre el filtro, la pieza de presión retorna abriendo todo el paquete filtrante, quedando todas las placas a una equidistancia tal que permite el desalojo libre de la torta.

Con el fin de lograr una perfecta formación del paquete filtrante, la superficie de contacto de las placas está perfectamente mecanizada con una tolerancia máxima de $\pm 150\mu$.

Con el fin de retener los sólidos en la suspensión a filtrar, cada placa filtrante de cámara irá provista de una tela doble unida por un collarín de tejido impermeable.

Para aumentar su duración y la estanqueidad del paquete filtrante, pueden ir provistas con telas de soporte de un tejido grueso que se colocan debajo de las telas.

FIGURA 55
UNION DE LAS PLACAS POR MEDIO DE CADENAS



5.2.1.4.- Medio filtrante: El medio filtrante es responsable de la rápida y efectiva formación del queque o torta además de tener una significativa contribución en la *performance* de filtración.

También, el medio filtrante tiene influencia en el flujo del líquido filtrado, la resistencia inicial del filtro y la turbidez del filtrado en cada ciclo de filtración, así como también influye en la descarga del queque.

5.2.1.5.- Control y mantenimiento: El mantenimiento y control de un Filtro Prensa consiste en:

- Revisar telas filtrantes y cambiar cada 500 horas
- Control y engrase del grupo motor-reductor
- Temperatura no superior a 50°C
- Vigilar diariamente que la presión sea adecuada
- Comprobar una vez al mes la presión de hinchado de los acumuladores (opcional)

- Comprobar una vez por semana la presión de regulación del circuito
- Comprobar el envejecimiento del aceite
- Descomprimir las válvulas de seguridad cada tres meses y volver a regularlas
- Comprobar el desgaste mecánico de las piezas con movimiento
- En las tareas de mantenimiento y limpieza deberá cuidarse especialmente, que la maquinaria este desconectada y bloqueada para evitar accidentes.

5.2.1.6.- Diseño y cálculo de un filtro prensa:

1.- Velocidad de filtración: La velocidad de filtración utilizada para obtener la caída de presión total se la conoce como la relación fango – medio filtrante, que se la define como la razón entre el fango filtrado de un metro cúbico por minuto y el medio filtrante de un metro cuadrado de área y se la expresa como:

$$V_f = \frac{Q_e}{A_{neta}} \quad (5.51)$$

Donde:

V_f = Velocidad de filtración

Q_e = Caudal de entrada del fango

A_{neta} = Área neta de la tela de filtración.

Los fabricantes han desarrollado ecuaciones y nomogramas que permiten obtener la relación fango – medio filtrante, en las cuales se relacionan la temperatura de operación, tamaño de la partícula, carga de polvo y aplicación, para lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$V_f = 2.878 * A * B * T^{-0.2335} * C_e^{-0.06021} * (0.7471 + 0.0853 \ln D_p) \quad (5.52)$$

Donde:

V_f = Velocidad de filtración pie/min

A = Factor de material

B = Factor de aplicación

T = Temperatura de aplicación.

C_e = Carga de polvo a la entrada

D_p = Diámetro de partícula.

Se tiene los siguientes datos:

A = 10 según tabla N° 54

B = 0.90 según tabla N° 54

T = 30 °C a 86°F

C_e = 70750 ^{gr}/_{pie³}

D_p = 40 μm

TABLA 54
APLICACIÓN DE LOS FACTORES A Y B

FACTOR DE MATERIAL: A				
15	12	10	9	6
Mezcla de pastel	Asbesto	Alúmina	Amonio	Carbón activado
Polvo de cartón	En pulición	Aspirina	Fertilizantes fosfáticos	Carbón negro (molecular)
Cocoa	Celuloso	Carbón negro	Petroquímicas secas	Detergentes y otros dispersantes
Harina	Fundición	Cemento	Tintura	Productos directos de reacción de polvo de tocador, leche y jabón
Granos	Perlita	Pigmentos	Ceniza volátil	
Polvo de cuero	Caucho	Cerámica	Oxidos metálicos	
Polvo en acerrios	Arena	Arcillas	Pigmentos metálicos y sintéticos	
Tabaco	Sal	Ladrillo	Plásticos	
	Talco	Carbón de piedra	Resinas	
		Polvo de rocas y minerales	Silicatos	
		Sílica	Almidones	
		Acido sórbico	Acido tánico	
		Azúcar		
FACTOR DE APLICACION: B				
Refiere a puntos de transferencia, estaciones de parqueo, etc.				1,00
Colección de Productos: transporte de aire, molinos, clasificadores, conducción rápida				0,90
Filtración de gas: conducción de spray, hornos, reactores, etc.				0,80

*Fuente: Tesis de pruebas experimentales en un filtro manga

Aplicando la fórmula:

$$V_f = 2.878 * A * B * T^{-0.2335} * C_e^{-0.06021} * (0.7471 + 0.0853 \ln D_p) \quad (5.52)$$

$$V_f = 2.878 * 10 * 0.9 * 86^{-0.2335} * 687.69^{-0.06021} * (0.7471 + 0.0853 \ln 40)$$

$$V_f = 4.96 \text{ pie}/\text{min} = 90.71 \text{ m}/\text{h}$$

2.- Área neta de filtración: El área neta de filtración se obtiene tomando la razón entre el caudal de entrada y la velocidad de filtración como sigue:

$$A_{NETA} = \frac{Q_e}{V_f} \quad (5.53)$$

Para calcular el caudal se tiene en cuenta lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 - & 13.16 \frac{\text{KmolCaCO}_3}{h} * \frac{100\text{KgCaCO}_3}{1\text{KmolCaCO}_3} * \frac{1\text{m}^3\text{CaCO}_3}{2700\text{KgCaCO}_3} = 0.49 \frac{\text{m}^3\text{CaCO}_3}{h} \\
 - & 19.57 \frac{\text{KmolSiO}_2}{h} * \frac{60\text{KgSiO}_2}{1\text{KmolSiO}_2} * \frac{1\text{m}^3\text{SiO}_2}{2650\text{KgSiO}_2} = 0.44 \frac{\text{m}^3\text{SiO}_2}{h} \\
 - & 0.74 \frac{\text{KmolAl}_2\text{O}_3}{h} * \frac{102\text{KgAl}_2\text{O}_3}{1\text{KmolAl}_2\text{O}_3} * \frac{1\text{m}^3\text{Al}_2\text{O}_3}{3950\text{KgAl}_2\text{O}_3} = 0.019 \frac{\text{m}^3\text{Al}_2\text{O}_3}{h} \\
 - & 0.71 \frac{\text{KmolFe}_2\text{O}_3}{h} * \frac{160\text{KgFe}_2\text{O}_3}{1\text{KmolFe}_2\text{O}_3} * \frac{1\text{m}^3\text{Fe}_2\text{O}_3}{5240\text{KgFe}_2\text{O}_3} = 0.022 \frac{\text{m}^3\text{Fe}_2\text{O}_3}{h} \\
 - & 0.78 \frac{\text{KmolAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 0.2\text{SiO}_2}{h} * \frac{258\text{KgAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 0.2\text{SiO}_2}{1\text{KmolAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 0.2\text{SiO}_2} * \frac{1\text{m}^3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 0.2\text{SiO}_2}{1760\text{KgAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 0.2\text{SiO}_2} = \\
 & 0.11 \frac{\text{m}^3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 0.2\text{SiO}_2}{h} \\
 - & 20.63 \frac{\text{KmolH}_2\text{O}}{h} * \frac{18\text{KgH}_2\text{O}}{1\text{KmolH}_2\text{O}} * \frac{1\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{1000\text{KgH}_2\text{O}} = 0.37 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{h} \\
 - & 193.91 \frac{\text{Kg impurezas(Feldespatos)}}{h} * \frac{1\text{m}^3\text{impurezas(Feldespatos)}}{2500\text{Kgimpurezas(Feldespatos)}} = \\
 & 0.078 \frac{\text{m}^3\text{impurezas(Feldespatos)}}{h}
 \end{aligned}$$

Reemplazando lo valores obtenidos en la fórmula:

$$A_{NETA} = \frac{Q_e}{V_f} \quad (5.53)$$

$$A_{\text{NETA}} = \frac{1.529 \text{ m}^3/\text{h}}{90.71 \text{ m}/\text{h}}$$

$$A_{\text{NETA}} = 0.02 \text{ m}^2$$

3.- Número de placas: De acuerdo a las dimensiones del medio filtrante seleccionada se puede determinar el área total por placa calculando el área superficial de un rectángulo como se muestra a continuación:

$$A = 0.47\text{m y } L = 1.43 \text{ m.}$$

$$A_{\text{placa}} = A * L \quad (5.54)$$

$$A_{\text{placa}} = 0.47\text{m} * 1.43\text{m}$$

$$A_{\text{placa}} = 0.67 \text{ m}^2$$

Una vez obtenida el área de la placa individual y el área neta de filtración se puede calcular el número real de placas que va a operar dentro del filtro prensa como se indica a continuación:

$$N_{\text{PLACAS}} = \frac{A_{\text{PLACA}}}{A_{\text{NETA}}}$$

$$N_{\text{PLACAS}} = \frac{0.67}{0.02}$$

$$N_{\text{PLACAS}} = 34$$

4.- Determinación de la caída de presión: Para poder establecer la caída de presión que se desarrollaría en el filtro es necesario asumir el tiempo de filtración y determinar el valor de K_2 con la ecuación 2.10. El rango típico de K_2 es de 1.2 – 30 o 40 Pulg H_2O / ft/min-Lb/ft². El cálculo de K_2 se muestra a continuación:

$$K_2 = \frac{0.00304}{(d_{g,\text{masa}})^{1.1}} \times \left(\frac{\mu_{g,86^\circ\text{F}}}{\mu_{g,70^\circ\text{F}}} \right) \times \left(\frac{2600}{\rho_P} \right) \times \left(\frac{V_f}{0.0152} \right)^{0.6} \quad (5.55)$$

Donde:

K_2 = Permeabilidad de la capa de polvo (cm H₂O / m/s-Kg/m²)

$d_{g,masa}$ = Diámetro medio geométrico de masa (m)

μ_g = Viscosidad absoluta del gas a la temperatura de operación en

°F (Kg/m-s)

$\mu_{g,70°F}$ = Viscosidad absoluta del gas a temperatura ambiente (70°F

- 21°C) = 1.81×10^{-5} Kg/m-s

ρ_p = Densidad de la partícula (Kg/m³)

V_f = Velocidad de filtración (m/s)

$$K_2 = \frac{0.00304}{(d_{g,masa})^{1.1}} \times \left(\frac{\mu_{g,86°F}}{\mu_{g,70°F}} \right) \times \left(\frac{2600}{\rho_p} \right) \times \left(\frac{V_f}{0.0152} \right)^{0.6} \quad (5.55)$$

$$K_2 = \frac{0.00304}{(4 \times 10^{-5})^{1.1}} \times \left(\frac{1.9 \times 10^{-5}}{1.82 \times 10^{-5}} \right) \times \left(\frac{2600}{687.69} \right) \times \left(\frac{1.51}{0.0152} \right)^{0.6}$$

$$K_2 = 13036 \text{ cmH}_2\text{O/m/s} - \text{Kg/m}^2$$

$$K_2 = 12.07 \text{ PulgH}_2\text{O/Pie/min} - \text{lb/Pie}^2$$

$$\Delta P = 6.08 * V_f * P_j^{-0.65} + K_2 * V_f^2 * C_e * t_f \quad (5.56)$$

Donde:

ΔP = Caída de presión total del filtro (Pulg H₂O)

V_f = Velocidad de filtración (ft/min)

K_2 = Coeficiente de resistencia específico del polvo (Pulg H₂O /

ft/min-Lb/ft²)

C_e = concentración de polvo a la entrada del filtro (Lb/ft³)

t_f = tiempo de filtración (min)

$$\Delta P = 6.08 * V_f * P_j^{-0.65} + K_2 * V_f^2 * C_e * t_f \quad (5.56)$$

$$\Delta P = 6.08 * 4.96 * 80^{-0.65} + 12.07 * 4.96^2 * 1.51 * 30$$

$$\Delta P = 13453.2 \text{ Pulg H}_2\text{O}$$

5.2.2.- Diseño y cálculo de una bomba:

5.2.2.1.- Descripción del funcionamiento de la bomba: La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades.

Se pueden considerar dos grandes grupos: Dinámicas (Centrífugas, Periféricas y Especiales) y de Desplazamiento Positivo (Reciprocantes y Rotatorias).

1.- Bombas rotodinámicas: En las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

- Radiales o centrífugas, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.

5.2.2.2.- Factores que se debe considerar al seleccionar un equipo de bombeo:

Existen varios factores que debe considerar cuando selecciona un equipo de bombeo para manipular líquidos viscosos:

- A.- Viscosidad del material
- B.- Temperatura de bombeo
- C.- Tamaño de la tubería de succión
- D.- Tamaños de los puertos de la bomba
- E.- Velocidades y capacidades reducidas de la bomba
- F.- Tamaño de la tubería de descarga
- G.- Espacios extras
- H.- Eficiencias
- I.- Selección de la bomba.

La negación a considerar uno o más de estos factores podría resultar en una instalación que no rinde tan bien como se esperaba, por ejemplo, baja capacidad, ruidoso, motor sobrecargado, etc.

A. Viscosidad del material: La viscosidad es una medida de resistencia al movimiento entre las partículas adyacentes en un líquido; tal vez una definición más simple podría ser el decir que la viscosidad es una medida de la resistencia al flujo de un líquido. Tipos de líquidos:

A.1.- Tixotrópico: Un líquido tixotrópico es uno en el que la viscosidad disminuye así como el ratio de corte incrementa. Existen relativamente pocos líquidos que tienen tendencias tixotrópicas suficientemente fuertes para ocasionar preocupación, pero aquellas no presentan problemas peculiares. Los líquidos tixotrópicos típicos son emulsiones, ciertos tipos de “cemento de jebe” industrial y el ketchup.

Es una característica tixotrópica del ketchup que es difícil de iniciar, pero una vez que se ha iniciado, es difícil de parar. En otras palabras, cuanto más rápido se mueve, se hace más delgado.

B.- Temperatura de bombeo: Casi sin excepción, la viscosidad de un líquido varía inversamente a la temperatura. Si la temperatura incrementa, la viscosidad disminuye y viceversa.

Es posible incrementar la temperatura de muchos líquidos, lo suficientemente alto de tal manera que sus viscosidades se encuentren por debajo o en la Porción inferior del rango del líquido viscoso. Esto es adecuado si los problemas que resulten de las temperaturas elevadas no son muy problemáticas que aquellas que resulten del manipuleo de un material altamente viscoso.

C.- Tubería de succión: Cuando se considere el uso de una bomba en una aplicación que requiere la transferencia de un líquido viscoso, hay por lo menos tres fuentes posibles de presión disponibles para hacer que el líquido fluya desde el tanque o fuente a través de la tubería de succión hacia el puerto de succión de la bomba. Estas fuentes de presión son: presión atmosférica en la superficie del líquido, colector de succión del líquido arriba del puerto de succión de la bomba, y algunos medios mecánicos para ejercer presión en el líquido. Todas las instalaciones deben tener por lo menos una de estas fuentes de presión disponibles antes de que se mueva algún líquido hacia el puerto de succión de la bomba. Muchas de las instalaciones tendrán dos:

- Presión atmosférica y
- Colector de succión.

C.I.- Presión Atmosférica: La presión atmosférica en la superficie de un líquido expuesto es aproximadamente de 14.7PSI; el valor específico para una instalación dada depende de su elevación sobre el nivel del mar. Cuánto de los 14.7PSI se encuentra disponible para

mover el líquido al puerto de succión, esto depende de la capacidad al vacío de la bomba. Si la bomba puede desarrollar un vacío perfecto, se encontraría disponible los 14.7PSI.

C.2.- Colector de succión: Cuando sea posible en una instalación para los materiales viscosos, debe haber un colector de succión positivo de varios pies de líquido sobre la línea central de la bomba. Con el colector de succión la cantidad de presión disponible para forzar el líquido hacia la bomba es una función de la gravedad específica del líquido y el colector en pies.

D) Tamaños de los puertos de la bomba: Para las aplicaciones que comprenden líquidos delgados, siempre se recomienda que el tamaño de la tubería de succión sea la misma que el tamaño del puerto en la bomba. De alguna manera lo opuesto de esto es cierto para el manipuleo del líquido viscoso. Muchas de las veces las condiciones de succión indicarán el tamaño de la tubería más grande que el tamaño del puerto de la bomba. Se prefiere incrementar el tamaño del puerto de la bomba igual que el de la tubería de succión o por lo menos que sea tan cercano como sea posible.

Los puertos más grandes no sólo eliminan la necesidad de un accesorio de reducción en la bomba y eliminan la restricción en el puerto, pero también proveen un flujo más suave después que el líquido llega a la bomba y mejor llenado del espacio de los dientes dentro de la bomba. Algunas veces cuando la tubería de succión es sólo un tamaño más grande que las bridas de la caja estándar, es posible tapar una brida de acompañamiento de un tamaño más grande para aceptar la tubería de succión. Esto permite el uso de una tubería más larga de succión con una caja de bridas estándar sin instalar un accesorio de reducción.

E) Velocidades y capacidades reducidas de la bomba: Hay una resistencia al flujo en un líquido después que ingresa a la bomba así como hay una

cuando el líquido fluye a través de la tubería de succión. Así como esta resistencia interna fluye en el líquido se hace más grande (debido al incremento en la viscosidad), el líquido se mueve más lento. Por esto hay una velocidad de la bomba arriba en donde un líquido dado no fluirá lo suficientemente rápido para llenar los vacíos entre el rotor y los dientes del engranaje aún cuando en la separación de los engranajes de la bomba se desarrolla un vacío casi perfecto. Cuando los vacíos entre los dientes no se llenan completamente, la eficiencia volumétrica (ratio de capacidad entregado a la capacidad que podría entregarse si los vacíos del diente se encontraran llenos) empieza a caer. Esto también ocasiona que la bomba sea ruidosa y resulte en un desgaste indebido de la bomba.

F) Tamaño de la tubería de descarga: La fuente para el desarrollo de la presión para forzar el líquido a través de una tubería de descarga es, por supuesto, la propia bomba. Existen limitaciones en las presiones que los diferentes modelos de las bombas pueden desarrollar y todavía proveen una duración aceptable de servicio. Si un modelo dado de bomba se prefiere por alguna razón, por ejemplo, (1) ya se encuentra disponible, (2) es como un modelo que ya se encuentra en servicio en algún lugar de la locación, o (3) experiencia favorable con modelos similares en aplicaciones parecidas, etc., esto automáticamente determinará la cantidad de presión que se encuentra disponible. Si ciertos tamaños de tuberías ya se encuentran disponibles o hay espacio en una prima, el tamaño de la tubería de descarga podrá determinarse por circunstancia y deberá seleccionarse una bomba que desarrolle la presión requerida por el sistema. Los factores principales que ocasionan la presión que la bomba debe desarrollar son (1) elevación y (2) pérdida de fricción de la tubería. La presión se requiere para desarrollar la velocidad principal, pero con ratios bajos de flujos usados en el flujo laminar o viscoso, este requerimiento de presión es muy pequeño y normalmente no se considera.

F.1) Elevación: La elevación como se usa acá significa lo que normalmente significa un cambio en altura. Generalmente, aunque no siempre, el extremo de la tubería de descarga en el punto en donde el líquido se entrega se encuentra sobre el nivel del puerto de descarga de la bomba. Este cambio en altura se expresa en pies. Este valor en pies se multiplica por la gravedad específica del líquido bombeado y dará un equivalente en pies de agua. Los pies de agua por el factor de conversión 0.433 dará el espacio de elevación en PSI. Esto se refiere comúnmente al “Espacio de Descarga Estática”. Se refiere a la estática ya que ésta presión existiría en la bomba aún cuando no hay líquido. Hay aplicaciones en donde el punto de descarga se encuentra por debajo del nivel de los puertos de la bomba. Los ejemplos podrían ser en transferencia o descarga de un material viscoso que no podría fluir o descargar por sí mismo en cantidades suficientes que sea prácticas, o una instalación en donde el flujo debe medirse. En este tipo de aplicación la elevación o espacio estático se resta de la presión que la bomba debe desarrollar para superar la fricción.

F.2) Fricción de la tubería: Al determinar la pérdida de la fricción de la tubería para la tubería de descarga, calcule el largo total de la línea sin tener en cuenta ya sea que la tubería es horizontal o vertical (incluye ambos tendidos hacia arriba y abajo). La pérdida de la fricción de la tubería es independiente al arreglo de la tubería ya que depende completamente del largo de la tubería, tamaño de la tubería, capacidad y viscosidad. Los accesorios generalmente se descartan cuando se calcula la longitud de la tubería, ya que para el flujo laminar la pérdida a través de un accesorio es bajo.

G) Espacios extras: Una buena parte de la energía requerida por la bomba que manipula los líquidos viscosos se usa para cortar la película del líquido entre las superficies con movimiento relativo. Al tener mayores espacios entre estas superficies, dentro de la razón, se requería menor

cantidad de energía para cortar la película del líquido. Los espacios extras para los líquidos altamente viscosos ayudan a proveer una operación ligera de la bomba. También, los espacios adicionales permiten una pequeña cantidad de sólidos finos que pasen a través de la bomba sin un daño significativo.

H) Eficiencias: En espacios Extras, se explicó la necesidad de energía para cortar la película del líquido. Esta energía permanece virtualmente constante para una aplicación dada sin considerar la presión de descarga de la presión. Por lo tanto una bomba es relativamente ineficiente a presiones bajas de descarga por la energía requerida para cortar la película del líquido en comparación a la energía requerida para desarrollar la presión en el líquido. Así como incrementa la presión de la descarga la eficiencia mecánica incrementa. Por lo que la energía “desperdiciada” usada para cortar la película del líquido incrementa como la viscosidad del líquido incrementa, es fácil de ver que la eficiencia de una bomba disminuye para un conjunto dado de condiciones así como incrementa la viscosidad.

I) Selección de la bomba: Hay varias consideraciones adicionales que deben revisarse para asegurar la mejor selección posible de la bomba para la aplicación del líquido viscoso. Estas consideraciones pueden incluir:

1. Ciclo de operación. ¿La bomba operará continuamente, 8 horas al día o sólo un trabajo de transferencia ocasional?
2. Presión de sistema, ¿El sistema se encuentra bajo un vacío alto o presión alta?
3. El tipo de la válvula de escape. ¿Interna, retorno al tanque o en línea?
4. Sellado de eje. Empaquetadura, sello mecánico u otro.

5. Naturaleza del líquido. Abrasivo, sucio, no soporta la contaminación, debe moverse lento, etc.
6. La locación del puerto y tipo. Horizontal, vertical, tapado, con bridas u otro
7. Mecanismo. Motor eléctrico, motor de gasolina u otro.

5.2.2.3.- Diseño y cálculo de la bomba:

1.- Cálculo del diámetro económico: Se procederá a determinar el diámetro de la tubería de impulsión de la bomba, empleando la ecuación de Bresse:

$$D = 0.587 * n^{0.25} * Q^{0.5} \quad (5.57)$$

Donde:

n= Número de horas de funcionamiento al día.

Q= Caudal fluente en m³/seg.

$$D = 0.587 * 22^{0.25} * 0.00015^{0.5}$$

$$D = 0.015 \text{ m}$$

En este caso se usará una tubería de fibrocemento que es la más idónea para transportar el crudo del cemento y según la tabla de fibrocemento debe ser de diámetro nominal DN 1.5" clase A-5 las cuales tendrán una longitud total de 100 m.

2.- Pérdida de carga en las líneas: Se hallará las pérdidas secundarias, haciendo uso de las siguientes formulas:

$$Q = V * A \quad (5.58)$$

Despejando la velocidad queda:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (5.59)$$

Donde:

V= Velocidad media del fluido sobre la sección transversal del tubo (m/s)

Q= Caudal (m³/seg)

D= Diámetro interior del tubo (m)

Y von los siguientes datos:

- DN de la tubería de fibrocemento: 1.5" = 15 mm
- Espesor (e) : 12mm
- Coeficiente de fricción (f) : 0.010
- Diámetro interno (Di) : 15 mm
- Caudal (Q) : 0.15 Lt/seg

A) En la línea de succión:

➤ Pérdidas locales:

Longitud del tramo (L) : 2 m

Diámetro de la tubería (Di) : 15 mm

Hallando los coeficientes de pérdidas productos de accesorios:

TABLA 55
COEFICIENTES DE PERDIDAS POR ACCESORIOS

Accesorios	Cantidad	K	Total
Codo 90°	01	2	2
Entrada con bordes cuadrados	01	0.50	0.50
Sumatoria de K			2.50

*Fuente: Autor

$$V = \frac{4 * 0.00015}{\pi * 0.015^2}$$

$$V = 0.85 \frac{m}{s}$$

$$h_{ls} = \frac{K * V^2}{2g} \quad (5.60)$$

$$h_{ls} = \frac{2.5 * 0.85^2}{2 * 9.8}$$

$$h_{ls} = 0.09 \text{ m}$$

➤ Pérdidas por fricción:

$$h_{fs} = \frac{2 * V^2 * f}{2 * D_i * g} \quad (5.61)$$

$$h_{fs} = \frac{2 * 0.85^2 * 0.010}{2 * 0.015 * 9.8}$$

$$h_{fs} = 0.049 \text{ m}$$

$$h_{ps} = h_{ls} + h_{fs} \quad (5.62)$$

$$h_{ps} = 0.09\text{m} + 0.049\text{m} \approx 0.14 \text{ m}$$

B) En la línea de impulsión:

➤ Pérdidas locales:

Longitud del tramo (L) : 100 m

Diámetro de la tubería (D_i) : 15 mm

Hallando los coeficientes de pérdidas producto de accesorios:

TABLA 56
COEFICIENTES DE PERDIDAS POR ACCESORIOS

Accesorios	Cantidad	K	Total
Válvula Check	01	2.3	2.3
Codo 45°	02	-3.8	-7.6
Codo 90°	04	2	8
Tobera	01	0.15	0.15
Sumatoria de K			2.85

*Fuente: Autor

$$h_{li} = \frac{K * V^2}{2g} \quad (5.63)$$

$$h_{li} = \frac{2.85 * 0.85^2}{2 * 9.8}$$

$$h_{li} = 0.11 \text{ m}$$

➤ Pérdidas por fricción:

$$h_{fi} = \frac{2 * V^2 * f}{2 * D_i * g} \quad (5.64)$$

$$h_{fi} = \frac{2 * 0.85^2 * 0.010}{2 * 0.015 * 9.8}$$

$$h_{fi} = 0.049 \text{ m}$$

$$h_{pi} = h_{li} + h_{fi} \quad (5.65)$$

$$h_{pi} = 0.11 + 0.049 \approx 0.16 \text{ m}$$

3.- Determinación de la resistencia: Para determinar la resistencia de la tubería por sobrepresión producido básicamente por el funcionamiento alternado de las bombas hidráulicas, se debe emplear las ecuaciones de Allievi o Michaud, según sea el caso consideraremos los siguientes parámetros:

- Espesor de la tubería (e) : 12 mm
- Resistencia máxima a la presión : 7.5 bar
- Módulo de elasticidad del fibrocemento (E) : $6.8 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
- Módulo del crudo (ϵ) : $4.4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
- Diámetro interior del tubo (D_i) : 15 mm
- Densidad del crudo a 30°C : 2720 Kg/m^3
- Constante de gravedad (g) : 9.8 m/s^2
- Longitud de la tubería (L) : 100 m
- Velocidad del fluido en la tubería (V) : 0.85 m/s
- Diferencia de niveles entre el punto más alto de llegada del crudo y el punto más bajo, altura de impulsión (ΔH): 30 m

Debemos calcular primero la velocidad de propagación:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho \left(\frac{1}{\epsilon} + \frac{D_i}{e * E} \right)}} \quad (5.66)$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{2720 * \left(\frac{1}{4.4 \times 10^{10}} + \frac{0.015}{0.012 * 6.8 \times 10^9} \right)}}$$

$$a = 1334 \text{ m/s}$$

Para calcular el tiempo de cierre usaremos la expresión empírica de Mendiluce:

Donde el coeficiente K vale: $K = 2$ para $L < 500 \text{ m}$

$$T = 1 + \frac{K * L * V}{g * \Delta H} \quad (5.67)$$

$$T = 1 + \frac{2 * 100 * 0.85}{9.8 * 30}$$

$$T = 0.58 \text{ seg}$$

Luego si $L < aT/2$, entonces usamos la ecuación de Michaud para hallar la altura por golpe de ariete.

$$L = 100 \text{ m} < aT/2 = 1334 \times 0.58/2 = 387 \text{ m}$$

Entonces usamos Michaud, pero el tiempo de cierre lo analizamos ahora en el caso más crítico que es un cierre instantáneo en vez de un cierre gradual ya que generará mayor presión, entonces:

$$T_c = \frac{2 * L}{a} \quad (5.68)$$

$$T_c = \frac{2 * 100}{1334} = 0.15 \text{ seg}$$

Ahora hallamos la carga por sobrepresión de la ecuación de Michaud:

$$H_l = \frac{2 * L * V}{g * T_c} \quad (5.69)$$

$$H_l = \frac{2 * 100 * 0.85}{9.8 * 0.15} = 115.65 \text{ m}$$

A esta altura de presión le adicionamos la altura dinámica de bombeo, el cual es $H_B = 30.3 \text{ m}$, entonces la presión en el punto más bajo de la tubería será:

$h_{\max} = 115.65 + 30.3 = 145.95 \text{ m}$, llevándolo a unidades de presión: $P_{\max} = 5.3 \text{ bar}$, por lo tanto la tubería que cumple con las exigencias establecidas, y comercialmente más cercana superior es de 7.5 Bar.

4.- Altura dinámica de bombeo:

$$E_A + H_B = E_D + \sum h_T \quad (5.70)$$

Despejando la ecuación queda:

$$H_B = \Delta H + h_{ps} + h_{pi} \quad (5.71)$$

$$H_B = 30 + 0.14 + 0.16$$

$$H_B = 30.3 \text{ m}$$

5.- Potencia de consumo: La energía entregada por la bomba al crudo; se determinó, teniendo en cuenta los siguientes datos:

Altura dinámica total (HDT) : 30.3 m

Caudal de bombeo (Qb) : 0.00015 m³/seg

Eficiencia de la bomba (η_b) : 50%

La potencia de consumo de la bomba:

$$P_{\text{CONSUMO}} = \frac{\rho_{\text{crudo}} * Q * H_B}{76 * \eta_b} \quad (5.72)$$

$$P_{\text{CONSUMO}} = \frac{2720 * 0.00015 * 30.3}{76 * 0.50}$$

$$P_{\text{CONSUMO}} = 0.33 \text{ HP}$$

6.- Potencia instalada: El motor se acopla a la bomba para su funcionamiento necesita una energía denominada “Potencia instalada (P_I)”, la energía entregada al motor eléctrico se calculará entonces con la eficiencia del sistema en conjunto Bomba-Motor (η_c) el cual es:

Donde:

η_m = Eficiencia del motor: 83%

η_c = Eficiencia del sistema en conjunto Bomba-motor (%):

$$\eta_c = \eta_b * \eta_m \quad (5.73)$$

$$\eta_c = 50\% * 83\%$$

$$\eta_c = 41.5\%$$

$$P_i = \frac{\rho_{\text{crudo}} * Q * H_B}{76 * \eta_c} \quad (5.74)$$

$$P_i = \frac{2720 * 0.00015 * 30.3}{76 * 0.415}$$

$$P_i = 0.39 \text{ HP}$$

7.- Obtención de la cavitación: Para evitar este fenómeno en la bomba, y tener una falla prematura debemos seguir los criterios del fundamento teórico acerca de cavitación:

$$- P_i = P_{\text{atm}} = 0$$

De la bomba seleccionada:

- $N = 3450 \text{ RPM}$
- $Q = 0.00015 \text{ m}^3/\text{seg}$
- $H_D = 30.3 \text{ m}$
- $H_s = 1.4 \text{ m}$
- $H_g = 28.6 \text{ m}$
- Las pérdidas en la succión $h_{ps} = 0.14 \text{ m}$

Con estos datos hallamos el NPSHd:

$$\text{NPSHd} = \frac{P_i}{\gamma} - \left(H_s + \frac{P_v}{\gamma} + h_{ps} \right) = - \left(H_s + \frac{P_v}{\gamma} + h_{ps} \right) \quad (5.75)$$

El signo negativo es porque la línea de succión está por debajo del nivel del crudo en el tanque.

$$\text{NPSHd} = 1.4 + 0.14$$

$$\text{NPSHd} = 1.54 \text{ m}$$

$$\text{Hallando el NPSHr} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Delta h_p \quad (5.76)$$

Para tener el mínimo valor de NPSHr, se deberá igualar las velocidades de salida y de entrada de la bomba $V_2=V_1$, reduciendo la ecuación anterior a:

$$\text{NPSHr} = \Delta h_p$$

$$\Delta h_p = 0.0012(N\sqrt{Q})^{4/3} * \frac{H_g}{H_d} \quad (5.77)$$

$$\Delta h_p = 0.0012 (3450 * \sqrt{0.00015})^{4/3} * \frac{28.6}{30.3}$$

$$\Delta h_p = 0.17 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\text{NPSHr} = \Delta h_p = 0.17$$

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$$

Si igualamos el $\text{NPSHd} = \text{NPSHr} = 0.17\text{m}$, es:

$$0.17 = \text{NPSHd} = H_s + 0.14$$

$$H_s = 0.03 \text{ m}$$

CAPITULO VI
CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad de los cementos se puede definir como el conjunto de métodos, técnicas y procedimientos que permiten garantizar que el producto final cumple los objetivos de calidad, regularidad, seguridad y economía, tanto para el fabricante como para el usuario, dos beneficiarios directos que requieren controles de calidad independientes, pero mutuamente informados.

Las fábricas de cemento realizan un control interno de calidad de su producto, que es imprescindible para efectuar oportuna y eficazmente las correcciones y ajustes en las diversas etapas de fabricación, en la búsqueda constante de obtener cementos de la calidad y de la regularidad que le exigen la normalización y la demanda.

Este control interno se clasifica:

- ✓ Control interno directo, consiste en una planificación del control en cada fase del proceso, que incluye: las pruebas que se deben ejecutar, lugar y frecuencia del muestreo, además de los métodos para la preparación de la muestra y la realización del ensayo.
- ✓ Control interno indirecto, consiste en un sistema de conducción a distancia, mediante el cual se controla las materias primas y los constituyentes del cemento de manera indirecta a través de variables que indican el funcionamiento correcto de las maquinarias y equipos.

Un control de calidad oficial garantiza al usuario que el producto que se encuentra en el mercado cumple con las especificaciones generales señaladas en la norma nacional.

6.1.- CONTROL DE CALIDAD EN LA MOLIENDA DE LAS MATERIAS PRIMAS:

La industria del cemento depende de diversas materias primas; con esta premisa, debemos efectuar un control de calidad minucioso, que nos permita seleccionar áreas económicas y así diseñar y explotar la materia prima que nos asegure un cemento de óptima calidad, ser selectivo significa mezclar adecuada y cuidadosamente las variables químicas contenidas en la caliza, brindando así una operación económica.

Estos controles de calidad se rigen por Normas Técnicas Peruanas y Normas Internacionales de Standardización, para este caso se tiene las siguientes normas que se tienen que seguir.

6.1.1.- NTP-400.012:2001; Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

La presente Norma Técnica Peruana establece el método para la determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado.

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

6.1.1.1.- Balanzas: Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino, grueso y global deberán tener la siguiente exactitud y aproximación:

- Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y exacta a 0,1 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.
- Para agregado grueso o agregado global, con aproximación y exacta a 0,5 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

6.1.1.2.- Tamices: Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001.

6.1.1.3.- Agitador Mecánico de Tamices: Un agitador mecánico impartirá un movimiento vertical o movimiento lateral al tamiz, causando que las partículas tiendan a saltar y girar presentando así diferentes orientaciones a la superficie del tamizado. La acción del tamizado será tal que el criterio para un adecuado tamizado esté dentro de un período de tiempo razonable.

6.1.1.4.- Horno: Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

6.1.1.5.- Muestreo: Tomar la muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010. El tamaño de la muestra de campo deberá ser la cantidad indicada en la NTP 400.010 o cuatro veces la cantidad requerida.

Mezclar completamente la muestra y reducirla a la cantidad necesaria para el ensayo utilizando los procedimientos descritos en la práctica normalizada ASTM C 702. La muestra para el ensayo será aproximadamente de la cantidad deseada cuando esté seca y deberá ser el resultado final de la reducción. No se permitirá la reducción a una cantidad exacta predeterminada.

6.1.1.6.- Agregado fino: La cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, será de 300 g mínimo.

6.1.1.7.- Agregado grueso: La cantidad de muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo indicado en la Tabla N° 57

TABLA 57
CANTIDAD MINIMA DE LA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO
O GLOBAL

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Minimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

*Fuente: NTP 400.010

6.1.2.- NTP 350.001:1970:

Establece los requisitos que deben cumplir los tamices de ensayo que se utilizan para clasificar distintos materiales según el tamaño de sus partículas o fragmento.

6.1.2.1.- Procedimiento de ensayo:

6.1.2.1.1.- Fracción granular gruesa: Primero que todo, la fracción granular gruesa se pesa en la balanza y el peso se anota en la hoja de registro. Luego se lleva a cabo el tamizado para separar las diferentes partículas 3", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", ¼", y No 4, comenzando en orden decreciente, teniendo en cuenta de no mezclar las partículas tamizadas. Al mismo tiempo de tara una ponchera en la balanza de 20Kg de capacidad y 1gr de sensibilidad. Y se determina el peso de cada fracción retenida. Se debe verificar que de la suma de los pesos retenidos en cada tamiz de igual al peso de la Fracción Granular gruesa, con una tolerancia de 0.5%.

6.1.2.1.2.- Fracción granular fina: Se toma todo el material pasante el tamiz No 4, se pesa en la balanza de 20kg y se anota en la hoja de registro. Se vierte la muestra en el Tamiz No 200, teniendo el cuidado de no perder el material. Luego se elimina las partículas inferiores al Tamiz No 200 (lîmo, feldespatos y coloides) lavando el material. Hasta que el agua salga limpia y clara. No se debe remover el material con las manos dentro del tamiz. Todo el material retenido en el Tamiz No 200 será arena, ya que los finos fueron lavados, se coloca en un recipiente, teniendo en cuenta de no dejar material adherido en el tamiz. Se pasa el material a una escudilla de 600 ml, haciendo uso del frasco lavador. Se descanta el agua y se seca la muestra en el horno a una temperatura de 105 ± 5 C por 18 horas aprox. Luego se deja enfriar y se separa por medio de tamices No 10, No 40, No 60, No 200. Se pesan las fracciones retenidas en cada uno de tamices y se anotan en la hoja de registro.

6.1.2.1.3.- Cálculos:

- Peso total de la muestra:

$$T = A + Ba \quad (6.1)$$

T: Peso total de la muestra

A: Fracción granular gruesa

Ba: Fracción granular fina

- Peso pasante del tamiz N° 200:

$$\text{Peso que pasa N}^\circ 200 = Bb - (\text{peso retenidos tamices N}^\circ 10, 40, 60, 200) \quad (6.2)$$

Bb: es el peso del tamiz N° 4, el que se toma para hallar la fracción granular fina

- % retenido en cada tamiz:

$$\% \text{ retenido parcial del tamiz } X = 100 * \text{ peso retenido del tamiz } * T \quad (6.3)$$

6.1.3.- Controles de calidad en los diferentes puntos de molienda:

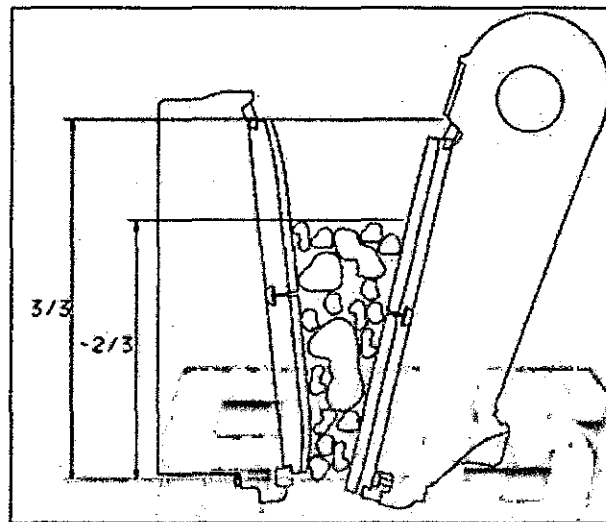
6.1.3.1- Control de calidad en la planta de trituración de la caliza:

6.3.1.1.1.- Algunos controles en la trituradora:

- Se debe introducir el material en la trituradora uniformemente de acuerdo con las recomendaciones sobre la disposición y tamaño de alimentación.

NOTA: Se debe observar que para el mejor rendimiento de la trituradora es máximo cuando la cavidad se rellena hasta dos tercios (2/3) de su capacidad.

FIGURA 56
CAPACIDAD ADECUADA DE LA TRITURADORA DE
MANDIBULA



- El tiempo de la molienda es muy importante, el tiempo que se debe de controlar es de aproximadamente 7 horas.
- Se debe de controlar la cantidad de carga que se le va a agregar a la trituradora.
- El tamaño de la partícula, con los controles en el tamizado que se realiza en el laboratorio.

6.1.3.2.- Control de calidad en la planta de trituración de la arcilla:

6.1.3.2.1.- Algunos controles en el molino de bolas:

- Se controla el tiempo de molienda que es de 3 horas de trituración.
- Se controla la carga que se le va a agregar al molino.
- El tamaño de la partícula, con los respectivos controles de tamizado.

6.1.3.3.- Control de calidad en el mezclador de las materias primas:

6.1.3.3.1.- Algunos controles en el mezclador:

- Se controla la carga que se va a agregar al mezclador.
- El tamaño de la partícula, con los respectivos controles de tamizado en el laboratorio.

6.1.3.4.- Control de calidad en el molino:

6.1.3.4.1.- Control de calidad en el agua de lavado del molino: El agua es el líquido que está presente de manera importante en la elaboración de cementos; por consiguiente debe ser un insumo limpio, libre de aceite, ácidos, álcalis, sales y, en general de cualquier mineral que pueda ser perjudicial, según el caso para que se utilice.

Algunas de las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas y que inciden en la calidad del concreto se presentan a continuación:

- Las aguas que contengan menos de 2000 p.p.m. de sólidos disueltos generalmente son aptas para hacer cemento; si tienen más de esta cantidad deben ser ensayados para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuyen la resistencia del concreto.
- Las aguas ácidas con pH por debajo de 3 pueden crear problemas en el manejo y deben ser evitadas en lo posible.
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo) en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.

6.1.3.4.2.- Algunos controles en el molino:

- El parámetro que determina la finalización de la molienda es el residuo, actualmente debe estar entre un 9 y 10 %. Este valor depende directamente del tiempo de molienda, pero también depende de la cantidad de agua, es decir, si se coloca más agua de lo requerido, el residuo disminuye más rápido, pero se afectan los valores de densidad y residuo (tardan más en llegar a sus valores establecidos).
- Las condiciones del clima afectan directamente al proceso. Por ejemplo, al estar húmedo y lluvioso el clima, se debe colocar menos agua, por lo que los mismos operadores deben cambiar la cantidad de agua necesaria.
- El tiempo de la molienda es muy importante, el tiempo que se debe de controlar es de aproximadamente 30 minutos.

6.2.- CONTROL DE CALIDAD EN EL FILTRO PRENSA:

Se controla

- Nivel de carga.
- El tiempo de secado; este tiempo depende de la consistencia de la masa de torta filtrante.
- Control a nivel granulométrico al final de torta.
- La temperatura y presión son factores muy importantes y también se requiere ser controlados; en el caso de la presión pueden ser operadas hasta 900 psi junto con la unidad de presión de CO₂, las presiones de 750 psi son obtenidas con la ayuda de una contrapresión y con el regulador de nitrógeno, y con válvulas de escape de 750 psi y tiene que estar en esas condiciones; y con respecto a la temperatura debe de ser de 200°F a temperaturas por encima de esta se debe de utilizar un recibidor de contra presión para prevenir la ebullición del filtrado.

6.3.- CONTROL DE CALIDAD EN EL PRE-HORNO (4 CICLONES):

Se controla:

- El tiempo de residencia debe de ser de 60 segundos.
- Temperatura de entrada en el pre calcinador tiene que ser de 70°C hasta los 820°C, y la temperatura de salida será de 300°C-350°C.
- También es necesario tener en cuenta la velocidad de los gases que fluyen a través del horno no debe de estar por encima de los 12 m/s a la salida del horno.
- El combustible en pre calcinador se utiliza en 10 – 25% del combustible original.

6.4.- CONTROL DE CALIDAD EN EL HORNO:

Se controla:

- El tiempo que debe de permanecer en el horno rotatorio es de 40 minutos hasta 1 hora como máximo.
- La cantidad de combustible utilizado en el horno rotatorio debe de ser de 90 – 75%.

- Temperatura de entrada en el horno rotatorio tiene que ser de 820°C hasta los 1400°C, y la temperatura de salida será de 730°C-800°C

6.5.- CONTROL EN EL ENFRIADO DEL CLÍNKER:

Se controla:

- La temperatura del aire frío debe de ser de 33°C.
- Se debe de enfriar rápidamente para evitar que forme cristales.
- La temperatura final del Clíner será de 50°C.

6.6.- CONTROL DE CALIDAD EN EL HORNO PARA LA CASCARA DE ARROZ:

Se controla:

- El tiempo de calcinación será de aproximadamente de 2 horas como máximo. (hasta que la mayor parte de carbono se elimine por oxidación).
- La temperatura del horno debe de estar entre 550 °C.
- El pH que se debe de encontrar entre 8 y 9.5.

6.7.- CONTROL EN EL ENFRIADO DE LA CENIZA DE LA CASCARA DE ARROZ:

Se controla:

- El ingreso por el enfriador a 20°C/min.
- La temperatura de las cenizas de la cáscara de arroz se debe de encontrar aproximadamente en 60°C.

6.8.- CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL:

Se controla:

- La finura del cemento hidráulico que debe de ser menor de 10 micrometros; lo cual se verifica con su respectivo ensayo de laboratorio para realizar los análisis correspondientes.

- El lugar de envasado y de almacenamiento debe de estar a temperatura ambiente y no en lugares húmedos.
- Los sacos de cemento no se deben de almacenar sobre pisos húmedos.
- Los sacos se deben de apilar juntos para reducir la circulación de aire.
- El período de almacenamiento no debe de permanecer más de 60 días.

CAPITULO VII
EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

7.1.- INVERSIONES Y FINANCIAMIENTO:

7.1.1.- Inversiones:

Las inversiones bien sea a corto o a largo plazo, representan colocaciones que la empresa realiza para obtener un rendimiento de ellos o bien recibir dividendos que ayuden a aumentar el capital de la empresa. Las inversiones a corto plazo si se quiere son colocaciones que son prácticamente efectivas en cualquier momento a diferencia de las de largo plazo que representan un poco más de riesgo dentro del mercado. Aunque el precio del mercado de un bono puede fluctuar de un día a otro, se puede tener certeza de que cuando la fecha de vencimiento llega, el precio de mercado será igual al valor de vencimiento del bono. Las acciones, por otro lado, no tienen valores de vencimiento. Cuando el precio del mercado de una acción baja, no hay forma cierta para afirmar si la disminución será temporal o permanente. Por esta razón, diferentes normas de evaluación se aplican para contabilizar las inversiones en valores de deudas negociables (bonos) y en valores patrimoniales negociables (acciones). Cuando los bonos se emiten con descuento, el valor de vencimiento de los bonos excederá el valor prestado originalmente. Por lo tanto, el descuento puede ser considerado como un cargo de intereses incluido en el valor de vencimiento de los bonos. La amortización de este descuento durante la vida de la emisión de bonos aumenta el gasto periódico de intereses.

TABLA 58
INVERSIONES DE EQUIPOS, MAQUINARIA Y MATERIA PRIMA

Descripción	Dólares
Trituradora de mandíbula	35 000
Molino de bolas (2)	100 000
Mezclador	5 000
Filtro prensa	5 000

Horno rotatorio	1 000 000
Eliminador de polvo fino (3)	80
Horno de calcinación	50 000
Silo de almacenamiento (3)	5 000
Bombas (3)	1 555
Zarandas (3)	2 500
Fajas transportadoras (4)	8 000
Tuberías (x metro)(100m)	11360
Tanques de almacenamiento (3)	500
Válvula (1)	50
Terreno (x m2)(100 m2)	10000
Materia prima (x Kg)	1668000
TOTAL	3045315 \$

7.1.2.- Financiamiento:

Financiar es el acto de dotar de dinero y de crédito a una empresa, organización o individuo, es decir, conseguir recursos y medios de pago para destinarlos a la adquisición de bienes y servicios, necesarios para el desarrollo de las correspondientes actividades económicas. Tesorería, gestión de los cobros y pagos, movimiento de dinero y relación con entidades bancarias y provisiones de fondos.

Existen varias fuentes de financiación en las empresas. Se pueden categorizar de la siguiente forma:

7.1.2.1.- Según su plazo de vencimiento:

- Financiación a corto plazo:
- Financiación a largo plazo: Es aquella cuyo vencimiento (el plazo de devolución) es superior a un año, o no existe obligación de devolución (fondos propios). Algunos ejemplos son las ampliaciones de capital, autofinanciación, fondos de amortización, préstamos bancarios, emisión de obligaciones, etc.

7.1.2.2.- Según su procedencia:

- Financiación interna:
- Financiación externa: Financiación bancaria, emisión de obligaciones, ampliaciones de capital, etc. Se caracterizan porque proceden de inversores (socios o acreedores).

7.1.2.3.- Según los propietarios:

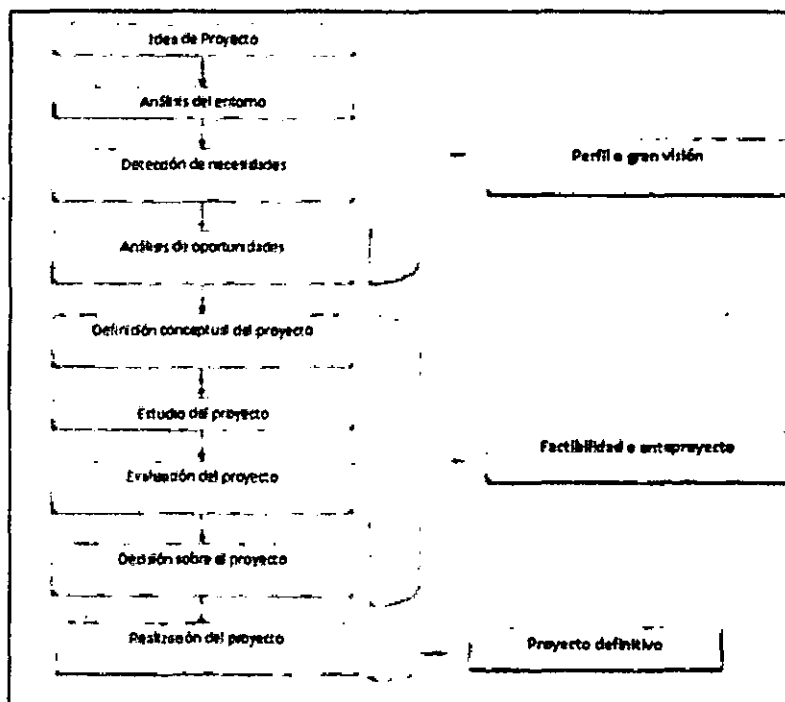
- Medios de financiación ajenos:
- Medios de financiación propia: No tienen vencimiento a corto plazo.

7.2.- COSTO DE ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO:

De cierta manera un proyecto es también una organización. En un proyecto todos los actores (organizaciones) son diferentes entre sí, pero coinciden en que una parte de sus esfuerzos (y sólo eso) son acciones dentro del proyecto, que van en una dirección común.

Según el siguiente mapa conceptual se seguirán los siguientes puntos:

MAPA CONCEPTUAL 1 FASES DE LA ORGANIZACIÓN DE UN PROYECTO



7.2.1.- Perfil o gran visión:

7.2.1.1.- Idea del proyecto: El cemento hidráulico es una interesante alternativa que hoy en día los países desarrollados utilizan en sus infraestructuras, se plantea el problema de elaborar el cemento hidráulico a partir de la cáscara de arroz ya que el Perú es un sector agrícola y productor de arroz.

7.2.1.2.- Análisis del entorno: Los únicos depósitos calcáreos de la región que ofrecen mejores perspectivas están en los sectores de la Bocana de Virrilá y Parachique. El aprovechamiento estaría dirigido a la producción de cemento, fabricar ladrillos o para afirmar carreteras.

La región rocosa está relacionada con el área que se eleva morfológicamente en la parte costera, con los macizos Illescas (al sur y sudoeste de la ciudad Bayovar), y Paita (al sur de la ciudad Paita). Se trata de una región con un relieve morfológico acentuado. Desde la costa del Pacífico la zona de los macizos se

eleva en una distancia muy corta (unos kilómetros) hasta una altitud de alrededor 500 m sobre el nivel del mar.

7.2.1.3.- Detección de necesidades: Piura está creciendo en infraestructura, cada vez hay más necesidad de adquirir un inmueble.

Entonces surge la necesidad del crecimiento de los condominios, departamentos, viviendas. Y de ahí la necesidad de la elaboración de un proyecto de inversión sobre la producción del cemento y específicamente el cemento hidráulico.

7.2.1.4.- Análisis de oportunidades: Las oportunidades de producir cemento hidráulico en Piura, se dieron a raíz de que hay canteras que aún no han sido explotadas, y esa es una oportunidad de no sólo generar un producto competitivo en el mercado sino como fuente de trabajo.

7.2.2.- Factibilidad o anteproyecto:

7.2.2.1.- Definición conceptual del proyecto: El cemento hidráulico es una mezcla de cemento Portland, con puzolana que está compuesta mayormente por sílice y alúmina que le confiere propiedades muy especiales al cemento.

La puzolana que contiene sílice, se puede obtener a partir de la ceniza de la cáscara de arroz, permitiendo mejorar la calidad de este producto y diversificándolo.

Hoy en día contamos con un número considerable de tipos de cemento para satisfacer las necesidades de obras para muchos propósitos.

7.2.2.2.- Estudio del proyecto:

TABLA 59
ESTUDIO DEL PROYECTO

Producto o servicio	Buenas	Malas	Regional	Nacional
Características, comerciales				
Necesidades a cubrir				
Ventajas del producto				
El mercado				
Oferta y demanda				
Plan comercial				
Presentación del producto				
Precio de venta del producto				
Formas de distribución				
plan de comunicación				
Plan de producción				
Lugar de la actividad				
Materiales a disponer				
Recursos Humanos				
Calificación del personal calificado				
Calificación del personal no calificado				

7.2.2.3.- Evaluación del proyecto:

TABLA 60
EVALUACION DEL PROYECTO

Descripción	Dólares
Trituradora de mandíbula	35 000
Molino de bolas (2)	100 000
Mezclador	5 000

Filtro prensa	5 000
Horno rotatorio	1 000 000
Eliminador de polvo fino (3)	80
Horno de calcinación	50 000
Silo de almacenamiento (3)	5 000
Bombas (3)	1 555
Zarandas (3)	2 500
Fajas transportadoras (4)	8 000
Tuberías (x metro) (100 m)	11360
Tanques de almacenamiento (3)	500
Válvula (1)	50
Terreno (x m ²) (100 m ²)	10000
Materia prima (x Kg)	1668000
Materiales e insumos de oficina	2750
Seguridad	1333.33
Sueldos administrativos	92000
Sueldos de jefes y personal de planta	141333.33
Gastos de laboratorio	2000
Equipos de seguridad	8000

TOTAL	1624731.66 \$/año
-------	-------------------

7.3.- COSTO DE PUESTA EN MARCHA:

Existe un período entre la finalización nominal de las obras y la producción en régimen normal, que se denomina "puesta en marcha" y cuya duración puede variar desde unas pocas semanas hasta varios meses. Lógicamente, en ese lapso se incurre en una serie de gastos, los cuales pueden ser divididos en dos grandes grupos:

- Gastos de construcción durante la puesta en marcha (pérdidas en líneas y equipos; defectos de diseño que deben solucionarse, falla de instrumentos, necesidad de equipos adicionales, etc.).
- Costos de operación de puesta en marcha (salarios, materias primas, productos semi terminados o terminados fuera de especificación, etc.).

Mientras que los primeros son siempre incluidos como capital fijo y, como tal, amortizados durante la vida útil de la planta, no existe criterio único para los segundos, dependiendo de la filosofía contable de la empresa que sean también capitalizados, o que se consideren como costos anormales de operación y se carguen al rubro pérdidas, si bien en este último caso no se los considera en la evaluación económica del proyecto. Sin embargo, la tendencia general es la reducción tanto como sea posible de los costos de puesta en marcha, por la prevención en la etapa de diseño.

TABLA 61
DESCRIPCION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS EN COSTO DE PUESTA EN
MARCHA

Descripción	Dólares \$
Trituradora de mandíbula	35 000
Molino de bolas (2)	100 000

Mezclador	5 000
Filtro prensa	5 000
Horno rotatorio	1 000 000
Eliminador de polvo fino (3)	80
Horno de calcinación	50 000
Silo de almacenamiento (3)	5 000
Bombas (3)	1 555
Zarandas (3)	2 500
Fajas transportadoras (4)	8 000
Tuberías (x metro) (100 m)	11360
Tanques de almacenamiento (3)	500
Válvula (1)	50
Terreno (m ²) (100 m ²) Es necesario adquirirlo	10000
TOTAL	1377315\$

Este valor es aproximadamente el 10% del costo de maquinarias y equipos.

TABLA 62
COSTO DE PUESTA EN MARCHA

Descripción	Costo en dólares \$
Costo de puesta en marcha	137731.5

7.4.- COSTO DE PRODUCCION:

Toda empresa a la hora de producir su producto o servicio debe asumir ciertos costos que le tomará llevarlo a cabo. Normalmente estos costos dependerán de la materia prima que se utilice, la mano de obra que se necesite, el alquiler del local, el pago de impuestos y servicios como agua, electricidad, teléfono, entre otros.

Existen diversos tipos de costos de producción siendo estos:

7.4.1.- Costos fijos:

Son aquellos que hay que pagar siempre en un periodo de tiempo determinado o planificado, no importa si la producción suba o baje. Por ejemplo el alquiler del local, el sueldo del personal, pago de servicios como la luz, entre otros.

7.4.2.- Costos variables:

Son aquellos que varían al incrementar la producción o disminuirla. Por ejemplo, en este caso los costos variables serían los insumos hasta los envases. Si un mes se decide producir más estos costos aumentarían para poder cubrir la producción.

7.4.3.- Costos totales:

Representa la suma de los costos fijos y los costos variables.

7.5.- CAPITAL DE TRABAJO:

El capital de trabajo puede definirse como “la diferencia que se presenta entre los activos y los pasivos corrientes de la empresa”. Los pilares en que se basa la administración del capital de trabajo se sustentan en la medida en la que se puede hacer un buen manejo sobre el nivel de liquidez, ya que mientras más amplio sea el margen entre los activos corrientes que posee la organización y sus pasivos circulantes mayor será la capacidad de cubrir las obligaciones a corto plazo, sin embargo, se presenta un gran inconveniente porque cuando exista un grado diferente de liquidez relacionado con cada recurso y cada obligación, al momento de no poder convertir

los activos corrientes más líquidos en dinero, los siguientes activos tendrán que sustituirlos ya que mientras más de estos se tengan mayor será la probabilidad de tomar y convertir cualquiera de ellos para cumplir con los compromisos contraídos.

Por lo tanto debemos ver dos definiciones de Capital de trabajo:

- Capital de Trabajo Bruto: Constituye el total del activo circulante.
- Capital de Trabajo Neto: Representa la diferencia entre el activo circulante y el pasivo circulante, en otras palabras, refleja el importe del activo circulante que no ha sido suministrado por los acreedores a corto plazo. También es denominado capital circulante, fondo neto de rotación, fondo de maniobra.

Formula:

$$CTN= AC-PC \quad (7.1)$$

AC= Activo circulante

PC= Pasivo circulante

CTN= Capital de trabajo neto

- Capital de Trabajo Cero: El capital de trabajo cero no sólo genera efectivo sino también acelera la producción y ayuda a los negocios a hacer entregas más puntuales y a operar con mayor eficiencia, el concepto tiene su propia definición de capital de trabajo:

$$CTC= Inventarios + Cuentas por cobrar - Cuentas por pagar \quad (7.2)$$

7.5.1.- Clasificación de activos y pasivos:

7.5.1.1.- Activos:

A.- Clasificación del activo: La palabra activo se deriva del Latín ACTIVUS y que quiere decir: Importe total del haber de una persona

natural o jurídica capaces de generar ingresos. De donde podríamos definir ACTIVO como los bienes y derechos de propiedad capaces de generar ingresos en el futuro.

Los activos se clasifican en:

A.1. Activos circulantes o corrientes.

A.2. Activos no circulantes que incluyen:

A.2.1. Activos fijos

A.2.2. Activos intangibles

A.2.3. Inversiones

A.2.4. Activos diferidos

A.2.5. Otros activos no circulantes

A.1.- Activos corrientes o circulantes: Esta se define como el efectivo sin ninguna restricción, o cualquier otra partida del activo que se tenga para convertirse en efectivo o que se haga de consumir en el ciclo normal de operaciones.

Las partidas del activo corriente o circulante más importante son:

- 1) El efectivo
- 2) Las cuentas por cobrar
- 3) Los inventarios
- 4) Gastos pagados por adelantado.

A.2.- Activos no circulantes:

A.2.1.- Activos fijos: Estos se agrupan en las empresas en el renglón de propiedad, planta y equipos, y se definen como los bienes de naturaleza que posee la empresa con carácter

relativamente permanente usados en las operaciones del negocio y que son adquiridos no con la intención de venderse.

Dentro de las partidas que se clasifican como Activos Fijos en el Balance General tenemos:

- 1) Terrenos.
- 2) Edificios
- 3) Máquinas y Equipos
- 4) Mobiliarios y Equipos de oficina
- 5) Equipos de transporte
- 6) Depreciaciones Acumuladas.

A.2.2.- Activos intangibles: Se clasifican en este grupo todos los activos de dimensiones o incorpóreo, es decir, que no sean dinero o bienes de naturaleza, lo que le da las características de no tener existencia física, basando su valor a los derechos y beneficios esperados por la posesión de su propietario. Dentro de ellos podemos distinguir:

- 1) Marca de Fábrica.
- 2) Crédito Mercantil.
- 3) Patente.
- 4) Registro Mercantil.

A.2.3.- Inversiones: Las inversiones son erogaciones para adquirir bienes muebles o inmuebles, tangibles o intangibles, que produzcan ingresos o presten servicios. También se puede decir que son rubros del balance general, calificados como permanentes o temporales, de acuerdo con los períodos esperados de tenencias y

frecuentemente con frases que indiquen la existencia de algún control.

Las inversiones en valores pueden calificarse en:

1) Inversiones Temporales: Estas se clasifican en el balance general como activo corriente, a continuación de la cuenta del efectivo.

2) Inversiones Permanentes a Largo Plazo: Estas deben mostrarse en el balance general entre el activo circulante y el activo fijo, bajo el título de otros activos (Inversiones).

A.2.4.- Activos diferidos: Lo constituyen aquellos activos que posee una empresa, los cuales suelen amortizarse en varios períodos y que su conversión en gasto está generalmente regulado por la ley.

Dentro de los activos diferidos más importantes tenemos los siguientes:

- 1) Gastos de organización.
- 2) Mejoras en propiedades arrendadas.

A.2.5.- Otros activos: Dentro de este título deben colocarse todos los bienes y derechos que tiene la empresa y que no caben dentro de las clasificaciones anteriores por ser estas muy específicas.

7.5.1.2.- Pasivos: Las características que debe reunir una partida, un grupo de partidas, y por supuesto todo el pasivo son las siguientes:

- Deben representar deudas y obligaciones presentes.

- Estas deudas y obligaciones deben pagarse en el futuro ya sea, mediante entregas efectivo, bienes o servicios.
- Son virtualmente ineludibles, muchas posibilidades de pagarlo.
- Proviene de operaciones o eventos económicos realizados.
- Deben reunir los requisitos de ser identificables y cuantificables en unidades monetarias.
- Pertenecen a una sola entidad económica.

7.6.- PLAN DE INVERSION:

TABLA 63
INVERSION TOTAL DEL PROYECTO

Descripción	Soles
Inversión de equipos y herramientas	4131945
Inversión de puesta en marcha	413194.5
Inversión de infraestructura	1404861.3
TOTAL	5950000.8 S/

7.7.- CRONOGRAMA DE EJECUCION DE PROYECTOS:

CUADRO 1
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE EJECUCION DEL PROYECTO

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES												
Actividades	Meses											
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Aprobacion del proyecto												
Reunión de coordinacion Inicial del equipo												
Tramites												
Selección del terreno donde se instalará la planta												
Implementacion de oficinas												
Proceso de selección y contratación de profesionales y tecnicos												
Compra de equipos y maquinaria												
Construcción e instalacion de los equipos de la planta												
Inicio del proceso												
Marketing del producto												
Revisión del proceso												
Mantenimiento general de los equipos												
Análisis de laboratorio para comprobar los resultados												

7.8.- PRESUPUESTOS DE GASTOS E INGRESOS:

TABLA 64
ESTADO DE FLUJO FINANCIERO

	AÑO
ACTIVIDADES OPERACIONALES	
Cobranza correspondiente a:	
- Venta de bienes y prestación de servicios	
- Reembolso de impuestos a las ganancias	
- Dividendos recibidos	
- otras entradas de efectivo relativos a las actividades operacionales	
Pagos correspondientes a:	
- Proveedores de bienes y servicios	
- Pago a y por cuenta de los empleados	
- Impuesto a las ganancias	
- Intereses y rendimientos	
- otros pagos de efectivo relativos a las actividades operacionales	
Efectivo	
ACTIVIDADES DE INVERSION	
Cobranza correspondiente a:	
- Venta de propiedades, planta y equipo	
Pagos correspondientes a:	
- Compra de propiedades, planta y equipo e intangibles	
- Desembolso por obras en curso de propiedad, planta y equipo e intangibles	
Efectivo neto usado por las actividades de inversión.	
ACTIVIDADES DE FINANCIAMIENTO	
Cobranza correspondiente a:	

- Obtención de préstamos de corto plazo	
- Obtención de préstamos de largo plazo	
Pagos correspondientes a:	
- Amortización o pago de préstamos de corto plazo	
- Amortización o pago de préstamos de largo plazo	
- Dividendos	
Efectivo neto provisto por las actividades de financiamiento	
AUMENTO NETO DE EFECTIVO Y EQUIVALENTE AL EFECTIVO	
EFECTIVO Y EQUIVALENTE AL EFECTIVO AL INICIO DEL AÑO	
EFECTIVO Y EQUIVALENTE AL EFECTIVO AL FINAL DEL AÑO	

7.9.- ANÁLISIS FINANCIERO:

TABLA 65
DETERMINACION DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN

Descripción	Soles/año
Materia prima	5004000
Energía eléctrica	41983
Agua	16620
Transporte	12000
Mano de obra:	
- Obreros	144000
- Superintendente	100000
- Jefe de planta	60000
Laboratorio:	

- Mano de obra	72000
- Jefe de laboratorio	48000
- Gastos de laboratorio	6000
Equipos de seguridad	24000
COSTO DE OPERACION	5528603 S/año

TABLA 66
DETERMINACION DE LOS COSTOS ADMINISTRATIVOS

Descripción	Soles/año
Sueldos:	
- Gerente	180000
- Personal de oficina	48000
- Salarios de obreros de oficina	48000
Seguridad	40000
Intereses	5757
Materiales e insumos de oficina	8250
Amortización	141255.58
COSTOS ADMINISTRATIVOS	471262.58 S/año

Amortización: Etimológicamente significa muerte de una deuda. Es la extensión de una deuda con su cancelación o pago.

n=10 años; i=12%; S= 25 000 S/

$$P = R * \left(\frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n} \right) \quad (7.3)$$

$$P = 25000 * \left[\frac{(1 + 0.12)^{10} - 1}{0.12 * (1 + 0.12)^{10}} \right]$$

$$P = 141255.58 \frac{\text{S/}}{\text{año}}$$

$$\text{Costos totales} = \text{Costos de operación} + \text{Costos administrativos} \quad (7.4)$$

$$CT = 5528603 + 471262.58$$

$$CT = 5999865.58 \text{ S/año}$$

$$\text{Costo unitario de producción} = \frac{\text{Costos totales}}{\text{Unidades de producción}} \quad (7.5)$$

Unidades de producción:

$$23297 \frac{\text{Tn}}{\text{año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * \frac{1 \text{ bolsa}}{42.5 \text{ Kg}} = 548164.71 \text{ bolsa/año}$$

$$\text{Costo unitario de producción} = \frac{5999865.58 \frac{\text{S/}}{\text{año}}}{548164.71 \text{ bolsa/año}}$$

$$\text{Costo unitario de producción} = 10.95 \frac{\text{S/}}{\text{bolsa}} \approx 11.0 \frac{\text{S/}}{\text{bolsa}}$$

TABLA 67
COSTOS FIJOS

Descripción	Soles/año
Sueldo del superintendente	100000
Sueldo del jefe de planta	60000
Sueldo del gerente	180000
Sueldo del personal de oficina	48000
Sueldos de los obreros de oficina	48000
Seguridad	40000
Intereses	5757
Materiales e insumos de oficina	8250

Amortización	141255.58
Equipos de seguridad	24000
COSTOS FIJOS	655262.58 S/año

TABLA 68
COSTOS VARIABLES

Descripción	Soles/año
Materia prima	5004000
Energía eléctrica	41983
Agua	16620
Transporte	12000
Sueldo de obreros	144000
Sueldo de mano de obra del laboratorio	72000
Sueldo del jefe de laboratorio	48000
Gastos de laboratorio	6000
COSTOS VARIABLES	5344603 S/año

Calculando:

Datos:

$$P_v = 1.4 * 11 \text{ S/bolsa} \rightarrow P_v = 15.4 \text{ S/bolsa}$$

$$\text{Bolsa} = 42.5 \text{ Kg}$$

$$I_t = \#P * P_v \quad (7.6)$$

$$I_t = 23297 \frac{\text{Tn}}{\text{año}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Tn}} * \frac{1 \text{ bolsa}}{42.5 \text{ Kg}} * \frac{15.4 \text{ S/}}{1 \text{ bolsa}}$$

$$I_t = 8441736.47 \text{ S/año}$$

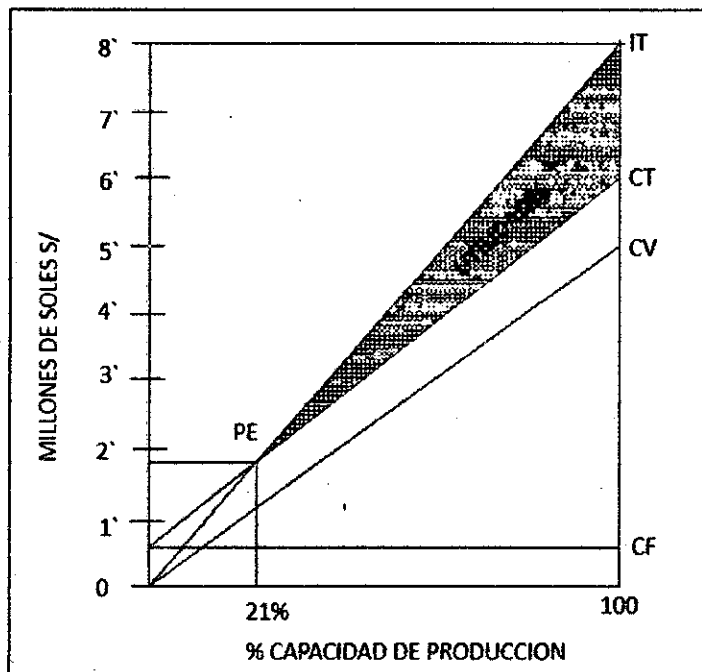
Punto de equilibrio: Es el punto en donde los ingresos totales recibidos se igualan a los costos asociados con la venta de un producto.

$$P_E = \frac{C_F}{1 - \frac{C_V}{I_t}} \quad (7.7)$$

$$P_E = \frac{655262.58 \text{ S//año}}{1 - \frac{5344603 \text{ S//año}}{8441736.47 \text{ S//año}}}$$

$$P_E = 1786023.78 \text{ S//año}$$

GRAFICO 2
PUNTO DE EQUILIBRIO



$$VAN = -Inversiones + Utilidades \quad (7.8)$$

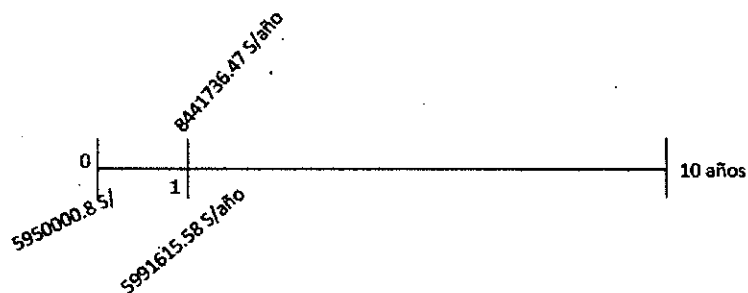
$$VAN = -I + R \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (7.8)$$

Datos:

$n = 10$ años

$i = 12\%$

$R =$ Utilidades brutas



$$VAN = -5950000 + 2450120.89 \left(\frac{(1 + 0.12)^{10} - 1}{0.12(1 + 0.12)^{10}} \right)$$

$$VAN = -5950000 + 13843729.48$$

$$VAN = 7893728.68 \text{ S/año}$$

Como el VAN es mayor que cero, significa que el proyecto es rentable

$$VAN = 0 \quad (7.9)$$

$$5950000 = 2450120.89 \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

$$TIR = 40 \%$$

CAPITULO VIII
SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

8.1.- NORMAS TECNICAS:

Los sistemas de gestión en seguridad y salud ocupacional, establece la aplicación para un Sistema de Gestión en la Salud y Seguridad Ocupacional (SSO) que permitan a una organización controlar sus riesgos en SSO y mejorar su desempeño. No establece criterios específicos de desempeño en SSO ni proporciona especificaciones detalladas para el diseño de un sistema de gestión.

A continuación se proporcionará un compendio de las Normas Técnicas Peruanas que se tienen que cumplir en lo que Seguridad y Salud Ocupacional se refiere.

8.1.1.- D.S.42-F: Reglamento de Seguridad Industrial:

Que es obligación del Estado cuidar que las actividades industriales se desenvuelvan dentro de un adecuado régimen de seguridad, salvaguardando la vida, salud e integridad física de los trabajadores y terceros, mediante la previsión y eliminación de las causas de accidentes, protegiendo las instalaciones y propiedades industriales, con el objeto de garantizar las fuentes de trabajo y mejorar la productividad;

8.1.2.- D.S.048-82-ITI/IND:

Consta de una serie de normas que toda empresa de rubro industrial debe de cumplir en materia de seguridad e higiene industrial.

8.1.3.- D.S.014-92-EM: Texto único ordenado de la ley general de minería:

El presente Decreto Supremo fue publicado el 03-06-92 sin anexar el texto del TUO, el cual se publicó en esta fecha.

De conformidad con la Única Disposición Transitoria del Decreto Ley N° 25998, publicado el 26-12-92, los contratos suscritos en virtud de lo dispuesto por el artículo 35 del Decreto Legislativo N° 109 con anterioridad a la entrada en vigencia de este TUO,

se registrarán por las disposiciones contenidas en los mismos y las que estaban vigentes al momento de su celebración.

8.1.4.- R.D.113-2000-EM/DG: Dispone que titulares mineros presenten manuales para transporte, carga y descarga, almacenamiento, control y manipuleo de cianuro y otras sustancias tóxicas o peligrosas:

Que, de la evaluación de los informes de fiscalización semestral de las Empresas de Auditoría e Inspectoría sobre el cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente en las unidades de producción donde se realizan actividades minero metalúrgicas, se advierte que no existe información acerca de los procedimientos para tareas críticas, medidas de prevención y plan de contingencias, que se deben tener en cuenta durante el transporte, carga y descarga, almacenamiento, control y manipuleo de cianuro y otras sustancias tóxicas o peligrosas que se usan en los procesos metalúrgicos;

Que, es necesario que se tomen medidas de control y prevención para evitar daño al personal que efectúa el manipuleo de dichas sustancias, así como para prevenir posibles derrames durante su transporte o almacenamiento, que puedan ocasionar impactos negativos a la salud y al medio ambiente;

Que, es indispensable que se implementen las respectivas cuadrillas con personal calificado y provisto de los equipos adecuados para afrontar en cualquier momento las contingencias antes señaladas;

8.1.5.- R.D.134-2000-EM/EGM: Lineamientos de planes de contingencia a emplearse en actividades minero metalúrgicas relacionado con la manipulación de cianuro y otras sustancias tóxicas o peligrosas:

Que, mediante Resolución Directoral N° 113-2000-EM/DGM del 27 de julio del 2000, se dispuso que los titulares de actividad minera presentarán ante la Dirección General de Minería los manuales de procedimientos que se emplean para el transporte carga, descarga, almacenamiento, control y manipuleo de cianuro y otras sustancias tóxicas o peligrosas correspondientes a sus procesos minero metalúrgicos, así como los respectivos planes de contingencias a emplear en caso de ocurrencias que puedan poner

en riesgo la salud y el medio ambiente;

Que, para un adecuado cumplimiento de lo dispuesto y con la finalidad de estandarizar las medidas de prevención contenidas en los planes de contingencias, es conveniente señalar los lineamientos a seguir para la elaboración de los mismos y determinar las sustancias que se consideran de riesgo, así como ampliar el plazo otorgado;

ANEXO I

LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACION DE PLANES DE CONTINGENCIA PARA ACTIVIDADES MINERO METALURGICAS

RESUMEN

1. Introducción
2. Misión y política de la empresa referente a contingencias
3. Objetivos
4. Organización del sistema de respuesta a la contingencia
 - 2.1. Elaboración y difusión de cartillas de respuesta ante emergencias
 - 2.2. Comité de crisis (Responsables)
 - 2.3. Definición de Areas Críticas
 - 2.4. Comunicaciones
5. Entrenamiento y simulacros
6. Operaciones de respuesta
 - 3.1. Procedimientos de notificación
 - 3.1.1. Comunicación al Ministerio de Energía y Minas y a la Empresa
de Auditoría e Inspectoría
 - 3.1.2. Comunicaciones con otras instituciones de apoyo

- 3.1.3. Comunicación(es) a la(s) comunidad(es)
- 3.2. Identificación de áreas críticas
- 3.3. Procedimiento de respuesta
- 3.4. Actividades de mitigación
- 3.5. Planes de disposición y eliminación
- 7. Evaluación de la contingencia
- 8. Procedimientos para actualización y revisión del plan
- 9. Anexos
 - 7.1. Hoja de Seguridad de los Materiales (MSDS)
 - 7.2. Información sobre las instalaciones
 - 7.3. Lista de contactos
 - 7.4. Listado de equipos para respuesta a incidentes
 - 7.5. Equipos de comunicaciones
 - 7.6. Glosario

ANEXO II

LISTADO BASE DE SUSTANCIAS UTILIZADAS EN LAS OPERACIONES MINERO METALURGICAS Y QUE PUDIERAN CONSIDERARSE DE RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD O EL AMBIENTE

Las sustancias que a continuación se presentan, constituyen un listado inicial al cual se podrá ir añadiendo otras sustancias según sea determinado por las diferentes empresas mineras luego del análisis de riesgo correspondiente.

1. Ácido sulfúrico

2. Cal viva

3. Cianuro
4. Combustibles y lubricantes
5. Hidróxido de sodio
6. Mercurio
7. Peróxido de hidrógeno

8.1.6.- R.D.128-2001-EM/DGM: Lineamientos generales para la elaboración de los programas anuales de fiscalización de las normas de seguridad e higiene minera y de protección y conservación del ambiente:

Que, por Ley N° 27474 de 5 de junio de 2001, se aprobó la Ley de Fiscalización de las Actividades Mineras que en su Primera Disposición Final dispone, que la fiscalización sobre seguridad e higiene minera así como en asuntos ambientales se llevará a cabo de acuerdo a los reglamentos, manuales y normas técnicas aprobadas por el Ministerio de Energía y Minas y/o según las directivas de la Dirección General de Minería y de la Dirección General de Asuntos Ambientales.

8.1.7.- D.S.055-2010-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería:

Artículo 2.- Publicación de anexos: Los anexos y guías que forman parte del Reglamento aprobado por el presente Decreto Supremo, serán publicados mediante el portal electrónico del Ministerio de Energía y Minas.

8.1.8.- R.M.161-2007-MEM/DM: Reglamento de seguridad y salud en el trabajo en las actividades eléctricas:

Que, mediante Resolución Ministerial N° 263-2001-EM/VME, publicada el 21 de junio de 2001, se aprobó el Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Subsector

Electricidad;

Que, mediante Decreto Supremo N° 009-2005-EM, publicado el 29 de septiembre de 2005, se aprobó el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, en el que se establece que el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo y el Ministerio de Salud son organismos supra sectoriales en materia de seguridad y salud, respectivamente, además se indica en su Tercera Disposición Complementaria y Transitoria que las disposiciones sectoriales deben armonizarse en materia de seguridad y salud;

Que, mediante Decreto del Consejo Directivo N° 001-2006-CONAM/CD del 10 de enero de 2006, se aprueba la Estrategia Nacional para la Promoción de la Producción Más Limpia y Ecoeficiente, cuyo objetivo principal es la prevención en seguridad, salud y medio ambiente;

TÍTULO V

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

CAPÍTULO I Equipos de Protección Personal

Artículo 79°.- Criterios generales para la selección de los equipos de protección personal:

Los equipos de protección personal deberán cumplir, al menos, con los siguientes requisitos:

- a. Cumplir con lo indicado en el inciso h) del artículo 15° del Reglamento.
- b. Deberán ser seleccionados de acuerdo a las condiciones de trabajo, climáticas y contextura del trabajador.
- c. Deberán proporcionar una protección efectiva contra el riesgo.
- d. No deberán poseer características que interfieran o entorpezcan significativamente el trabajo normal del trabajador, y serán cómodos y de rápida adaptación.
- e. No deberán originar problemas para la integridad física del trabajador considerando que existen materiales en los equipos de protección personal que pueden causar alergias en determinados individuos o sean fácilmente combustibles.

f. El mantenimiento deberá ser sencillo, y los componentes deteriorados deberán ser de fácil reposición o en su defecto posibles de reparar sin que ello represente una merma en la capacidad protectora del equipo.

g. Su deterioro o inutilización deberá ser detectable a través de inspecciones simples o sencillas.

Periódicamente la Entidad deberá revisar y registrar la calidad y operatividad de los equipos de protección personal.

Artículo 80°.- Ropa de trabajo: Todo trabajador que esté sometido a riesgo de accidente o enfermedad profesional, o en razón de aquellas actividades que imponen la obligación de distinguirse de personas ajenas a la Entidad, está obligado al uso de ropa de trabajo; debiendo ser ésta resistente al arco eléctrico, de acuerdo a las exigencias de la actividad a desarrollar en los equipos e instalaciones eléctricas. Dicha ropa será proporcionada por la Entidad o contratista para la cual presta sus servicios. Además, la ropa de trabajo cumplirá, al menos, los siguientes requisitos:

a. Estará confeccionada de tejido o material adecuado, de preferencia de fibra de algodón (resistente al fuego) teniendo en cuenta la zona y condiciones climatológicas.

b. Será de diseño adecuado al puesto de trabajo y al cuerpo del trabajador, permitiendo con facilidad el movimiento del trabajador.

c. Se eliminará o reducirá en lo posible aquellos elementos adicionales como bocamangas, botones, cordones, bolsillos u otros a fin de evitar el peligro de enganche.

d. En toda actividad o trabajo con riesgo se prohíbe el uso de corbatas, tirantes, bufandas, cadenas, anillos, collares y otros aditamentos posibles de enganches o conductores de electricidad.

e. Deberá llevar en lugar visible el logotipo de la Entidad.

Artículo 81°.- Protección craneal: Es obligatorio el uso de casco dieléctrico anti choque con barbiquejo para todo trabajador que ejecute trabajos en las instalaciones aéreas o a nivel del suelo; asimismo su uso es obligatorio cuando las condiciones de trabajo

entrañan riesgos de electrocución o golpes, como ocurre en lugares pequeños o trincheras. Para la protección del cráneo la Entidad deberá proporcionar a los trabajadores u otras personas que tengan acceso al lugar de trabajo los cascos de seguridad correspondientes.

Artículo 82°.- Protección auditiva: Para la selección de la protección auditiva, la Entidad deberá realizar un estudio de ruidos para identificar sus fuentes generadoras que la llevan por encima del límite permisible y que potencialmente puedan perjudicar al trabajador.

En zonas de trabajo donde los equipos generen ruidos por encima de 80 dB (ochenta decibeles) es obligatorio el uso de equipo de protección auditiva, el cual se empleará durante todo el tiempo de exposición al ruido. Los elementos de protección auditiva serán siempre de uso individual. Cuando la exposición sea continua por ocho horas o más y el ruido exceda los 60 dB (sesenta decibeles), los trabajadores deberán usar protección auditiva. Para la protección contra los ruidos se dotará a los trabajadores que hayan de soportarlos, de tapones endoaurales, protectores auriculares con filtros, orejeras de almohadilla, discos o casquetes anti ruidos o dispositivos similares.

Artículo 83°.- Protección facial: Cuando el riesgo por proyección de partículas, líquidos o gases o por emisión de energía radiante de alta intensidad involucra no sólo la vista sino también otras partes del rostro del trabajador, será obligatorio el uso de equipo de protección facial (escudos o caretas, máscaras y capuchas antiácidas, entre otros).

Artículo 84°.- Protección visual: Los equipos de protección visual, tales como gafas o anteojos, son necesarios en trabajos donde existen riesgos para la vista por impacto de partículas volantes, salpicadura de líquidos o polvos, o por energía radiante; y, deben cumplir las siguientes condiciones complementarias:

- a. Las monturas serán indeformables al calor, cómodas y de diseño anatómico sin perjuicio de su resistencia y eficacia.
- b. Cuando se trabaje con vapores, gases o polvo muy fino, deberán ser completamente cerradas y bien ajustadas al rostro; en los casos de polvo grueso y líquidos serán como las anteriores, pero llevando incorporados los botones de ventilación indirecta con tamiz

antiestático; en los demás casos serán con montura de tipo normal y con protecciones laterales, que podrán ser perforadas para una mejor ventilación.

c. Cuando exista peligro de impactos por partículas duras, podrá utilizarse gafas protectoras del tipo "panorámica" con armazón de vinilo flexible y con visor de policarbonato o acetato transparente.

d. Deberán ser de fácil limpieza.

Artículo 85°.- Protección de las vías respiratorias: Todo trabajador será protegido contra los riesgos de atmósferas peligrosas originados por polvos, humos, nieblas, gases o vapores tóxicos. Los equipos protectores del aparato respiratorio cumplirán, por lo menos, los siguientes requisitos y condiciones:

a. Serán apropiados al tipo de riesgo.

b. Serán de diseño anatómico y ajustadas al contorno facial, cuyo material en contacto será de goma especialmente tratada o de neoprene.

c. Se mantendrá su conservación y se vigilará su utilidad.

d. Sólo se utilizará respiradores o mascarillas con filtros en áreas donde existan riesgos indicados en el estudio correspondiente (escasa ventilación, con nieblas, polvos, partículas o vapores orgánicos). Los filtros serán reemplazados cuando se saturen o en función del tiempo de utilización, lo que ocurra primero.

e. Se almacenarán en compartimientos secos, amplios y de temperatura adecuada.

Artículo 86°.- Cinturones y arneses de seguridad: Para los trabajos en altura es obligatorio el uso de correas, cinturones o arneses de seguridad considerando las siguientes pautas:

a. No será permitido el uso de correa de posicionamiento 100% de cuero, ni cuerdas o sogas de material orgánico.

b. Las partes metálicas serán de una sola pieza y resistencia superior a la correa.

c. Se inspeccionará siempre el cinturón o arnés antes de su uso. Cuando tengan cortes, grietas, o deshilachadas, que comprometen su resistencia, serán dados de baja y destruidos.

d. Estarán provistos de anillos por donde pasará la cuerda salvavida y aquellas no deberán ir sujetas por medio de remaches.

Las cuerdas de cable metálico deberán ser utilizadas en operaciones donde una cuerda podría ser cortada. Las cuerdas de cable metálico no deberán ser utilizadas en las proximidades de líneas o equipos energizados.

Artículo 87°.- Calzado de seguridad: La Entidad debe proporcionar a los trabajadores calzado de protección para las diferentes labores que se realizan, entre ellas para protegerlos, según sea el caso, contra:

a. Choques eléctricos: se empleará calzados dieléctricos y no deberán tener ninguna parte metálica, de acuerdo a la norma técnica peruana correspondiente.

b. Impactos, aplastamientos y golpes: se usará calzados con puntera de seguridad (punta reforzada) para la protección de los dedos.

c. La humedad y el agua: se empleará botas de jébe de media caña y caña completa.

d. Líquidos corrosivos o químicos: se emplearán calzados de neoprene para ácidos, grasas, gasolina, entre otros; o similar.

Artículo 88°.- Protección de las extremidades superiores: La Entidad debe proporcionar los implementos necesarios para la protección de las extremidades superiores de los trabajadores para las diferentes labores que realizan. Los guantes dieléctricos deben cumplir con la norma IEC 903 "Specification for Gloves and Mitts of Insulating Material for Live Working" tomando en cuenta además, según el caso, lo siguiente:

a. Para los trabajos de acarreo de materiales diversos, de mecánica pesada, de manejo de piezas o materiales punzo cortantes, abrasivos y otros, se empleará guantes de cuero resistentes y reforzados.

b. En los trabajos en líneas o equipos eléctricos o para las maniobras con electricidad se empleará guantes dieléctricos en buen estado que lleven marcados en forma indeleble la tensión máxima para el que han sido fabricados.

c. En los trabajos de soldadura eléctrica o autógena, se empleará guantes de mangas de cuero al cromo o equivalente.

d. Para la manipulación de ácidos o sustancias corrosivas se empleará guantes de manga larga de neoprene o equivalente.

e. Para la manipulación de materiales o piezas calientes, se empleará guantes de cuero al cromo o equivalente.

Debe verificarse que los equipos de protección de las manos, antebrazos y brazos por medio de mitones, guantes, mangas que usen los trabajadores, no provoquen dificultades mayores para su movimiento. Los trabajadores que estén utilizando dichas protecciones no deben acercarse a maquinaria rotativa alguna a fin de evitar que sean atrapados por las piezas rotantes de dichas máquinas.

8.1.9.- D.S.021-2008-MTC: Reglamento nacional de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos:

Que, la Ley N° 28256, Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, tiene por objeto regular las actividades, proceso y operaciones del transporte terrestre de los materiales y residuos peligrosos, con sujeción a los principios de prevención y de protección de las personas, el ambiente y la propiedad;

8.1.10.- D.S.003-98-SA: Normas técnicas del seguro complementario de trabajo de riesgo:

Creado en mayo de 1997 por la Ley 26790, Ley de Modernización de la Seguridad social en Salud. Otorga cobertura adicional por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales a los afiliados regulares del Seguro Social de Salud.

8.1.11.- DIRECTIVA 010-GG-ESSALUD-99: Aviso e investigación de accidentes de trabajo:

Establecer las condiciones técnico-normativas para dar cumplimiento a lo dispuesto por los Artículos 11° y 12° del D.S.N° 003-98-SA, “Normas Técnicas del Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo”, respecto al deber de la entidad empleadora de informar sobre los accidentes de trabajo ocurridos en sus centros de trabajo, así como nuestra Institución pueda determinar el grado de responsabilidad de dicha entidad por el siniestro producido.

8.1.12.- D.S.066-2007-PCM: Reglamento de inspecciones técnicas de seguridad en defensa civil:

Que, el artículo 1 de la Constitución Política del Perú reconoce como fin supremo de la sociedad y del Estado la defensa de la persona humana, lo que implica e involucra la defensa de su integridad física;

Que, la Defensa Civil es el conjunto de medidas permanentes destinadas a prevenir, reducir, atender y reparar los daños a las personas y bienes, que pudieran causar o causen los desastres o calamidades;

8.1.13.- NTP ISO 9612: 2010: Determinación de la exposición al ruido laboral:

La presente Guía Técnica es aplicable a todos los sectores económicos y de servicios; comprende todos los empleadores y los trabajadores bajo régimen laboral de la actividad privada en todo el territorio nacional, trabajadores y funcionarios del sector público, trabajadores de las Fuerzas Armadas y de la Policía Nacional del Perú, y trabajadores por cuenta propia, que cuenten con Servicios de Higiene Ocupacional.

8.1.14.- NTP 399.012:1974: Colores de identificación de tuberías para transporte de fluidos en estado gaseoso o líquidos en instalaciones terrestres y en naves:

La presente Norma establece el significado y la forma de aplicación de un limitado número de colores para usarse en la identificación de tuberías para transporte de fluidos en estado líquido o gaseoso, en instalaciones terrestres y a bordo de naves.

En todos los establecimientos se exhibirá, en lugares apropiados, el cuadro con el Código de Colores utilizado para la identificación de las tuberías.

8.1.15.- NTP 399.009:1974: Colores patrones utilizados en señales y colores de seguridad:

La presente Norma establece colores patrones, codificados utilizados en señales y colores de seguridad.

Esta serie es sólo enumerativa pero no limitativa.

La tabla de colores que se establece provee patrones de comparación a fabricantes y a usuarios, facilitando la concordancia entre ellos; por convenio previo se podrá admitir colores de matices diferentes a los contemplados en esta Norma, pero no se identificarán con el mismo número de código.

8.1.16.- NTP ISO 20345:2008: Equipos de protección personal:

Calzado que incorpora elementos para proteger al usuario de las lesiones que puedan ocasionar los accidentes, equipados con topes de seguridad, diseñado para ofrecer protección frente al impacto.

8.1.17.- NTP 399.018:1974: Casco de seguridad para uso industrial:

El presente documento establece las especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir los cascos de seguridad, en cuanto a materia prima, diseño, fabricación, protocolo de ensayos y pruebas que deben cumplir de acuerdo a las Normas Nacionales e Internacionales de Seguridad.

8.1.18.- NTP 399.046.1977: Gafas o anteojos de seguridad:

Establece la clasificación y los requisitos de las gafas de seguridad. Esta norma se aplica a las gafas destinadas a proteger a los ojos contra el impacto de partículas volantes y, en ciertos casos, contra deslumbramiento y radiaciones nocivas. Las características de ventilación y los requisitos para los materiales del puente y de los cristales dependerán del uso a que se destinen las gafas. El empleo de monturas de uso común, esto es, aquellas utilizadas en anteojos correctores, aunque se les dote de cristales de seguridad, es completamente contrario a lo dispuesto en esta norma.

8.1.19.- NTP 399.047:1977: Cinturones, correas y arneses de seguridad:

Establece la clasificación y requisitos de los cinturones, correas y arneses de seguridad para uso industrial.

8.1.20.- NTP 350.021:2012: Clasificación de los fuegos y representación gráfica:

La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité de Técnico de Normalización de Seguridad Contra Incendios, mediante el Sistema 2 u Ordinario durante las sesiones realizadas en abril de 2011, utilizando como antecedentes a las normas que se mencionan en el capítulo correspondiente.

El Comité Técnico de Normalización de Seguridad Contra Incendios presento a la Comisión de Normalización y Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias-CNB, con fecha 2012-01-05, el PNTP 350.021:2011, para su revisión y aprobación, siendo sometido a la etapa de discusión pública el 2012-03-08. No habiéndose presentado observaciones, fue oficializada como Norma Técnica Peruana NTP 350.021:2012 CLASIFICACION DE LOS FUEGOS Y SU REPRESENTACION GRAFICA, 3ª Edición, el 26 de mayo de 2012.

Esta Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 350.021:2004. La presente Norma Técnica Peruana ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

8.1.21.- NTP 350.062:2012: Extintores portátiles: Métodos de ensayo para calificar la capacidad, conductividad o potencial de extinción:

La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité de Técnico de Normalización de Seguridad Contra Incendios, mediante el Sistema 2 u ordinario durante los meses de marzo 2010 y enero 2011, utilizando como antecedente a los documentos que mencionan en el capítulo correspondiente.

El Comité Técnico de Normalización de Seguridad Contra Incendios presentó a la Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias, con fecha 2011-12-29, el PNTP 350.062:2011, para su revisión y aprobación, siendo sometido a la etapa de discusión pública el 2012-03-08. No habiéndose presentado observaciones fue oficializado como Norma Técnica Peruana NTP 350.062:2012 EXTINTORES PORTATILES, Métodos de ensayos para calificar la capacidad o potencial de extinción. Fuegos Clase A, B, C, D, 3ª Edición, el 26 de mayo de 2012.

Esta Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 350.062:1998. La presente Norma Técnica Peruana ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

8.2.- TECNICAS DE SEGURIDAD:

8.2.1.- Identificación de los peligros:

TABLA 69
PELIGROS IRRITANTES

Principales peligros para la salud humana	Primeros auxilios
<u>Contacto cutáneo:</u> ✓ Cemento seco: puede provocar sequedad de la piel seguida de leve irritación.	<u>Contacto cutáneo:</u>

<p>✓ Cemento en contacto con piel húmeda o cemento mezclado con agua: puede provocar efectos cutáneos más severos como agrietamiento de la piel. Una exposición más prolongada puede ocasionar efectos más severos en forma de quemaduras cáusticas debido a su pH elevado.</p>	<p>Si el contacto con el polvo de cemento o cemento mezclado con agua produce irritaciones,</p> <p>lavar con agua abundante la parte afectada y si persiste la irritación consultar al médico</p>
<p><u>Contacto ocular:</u></p> <p>✓ Cemento seco en poca cantidad: puede causar una leve irritación en los ojos.</p> <p>✓ Cemento seco en gran cantidad o proyecciones de cemento mezclado con agua: pueden causar efectos que van desde una moderada irritación de los ojos hasta quemaduras cáusticas.</p>	<p><u>Contacto ocular:</u></p> <p>Si el cemento o el cemento mezclado con agua, entra en los ojos, evitar la compresión y la introducción de instrumentos para eliminarlo. Lavar los ojos con abundante cantidad de agua y solicitar asistencia médica.</p> <p>No deben usarse lentes de contacto cuando se trabaje con este producto de no ser que se utilice protección adecuada.</p>
<p><u>Inhalación:</u></p> <p>La inhalación de polvo de cemento más allá de los límites de exposición ambiental permisibles puede provocar la irritación de las vías respiratorias.</p>	<p><u>Inhalación:</u></p> <p>Si una persona presenta trastornos por la inhalación de grandes cantidades de cemento, se le trasladará inmediatamente a un lugar al aire libre. En caso de paro respiratorio emplear el método de reanimación cardiopulmonar (RCP). Mantener al paciente abrigado y acostado.</p>

	Conseguir atención médica tan pronto como sea posible.
<u>Ingestión:</u> La ingestión de este producto es poco probable a menos que se trate de un acto deliberado. Pequeñas ingestas de polvo no son dañinas pero en cantidades significativas, pueden ocasionar dolores abdominales y/o irritación el tracto digestivo.	<u>Ingestión:</u> No inducir al vómito y procurar asistencia médica. Si la persona está consciente darle a beber gran cantidad de agua. Buscar inmediatamente ayuda médica.

8.2.2.- Medidas de lucha contra incendios:

- ✓ El cemento no es inflamable.
- ✓ El cemento, en caso de incendio, no limita el uso de agentes de extinción.

8.2.3.- Medidas en caso de vertido accidental:

TABLA 70
MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales	Precauciones para la protección del medio ambiente
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evitar todo contacto con los ojos. ✓ Evitar el contacto con la piel. ✓ Evitar respirar el polvo. ✓ En caso de atmósfera de polvo de cemento utilizar una mascarilla anti polvo homologada. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No verter cemento en alcantarillas y en las aguas superficiales.

✓ Manipular el producto con guantes impermeables.	
---	--

8.2.4.- Métodos de limpieza, manipulación y almacenamiento:

TABLA 71
METODOS DE LIMPIEZA, MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Métodos de limpieza	Manipulación	Almacenamiento
No limpiar el cemento barriendo ni soplando, utilizar un método apropiado para evitar levantar polvo. Después de fraguado, el cemento puede ser retirado como un residuo inerte. El cemento mezclado con agua tarda en endurecer entre 30 y 90 minutos.	<p>-El suministro de este material se realiza a granel en cubas que posteriormente se descargan en silos cerrados o bien en sacos de papel o big bags.</p> <p>-Los silos para descarga de las cubas deberán estar provistos de un sistema de filtración del aire de escape.</p> <p>-En los locales donde se manipule el producto se deberá garantizar una buena ventilación.</p> <p>- Evitar nubes de polvo durante la manipulación. Si no es así llevar gafas y</p>	No es necesario tener ninguna precaución especial en el almacenamiento salvo el proteger los sacos de papel de la humedad para evitar su rotura y los consiguientes derrames del producto.

	<p>maskarilla anti polvo homologadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evitar el contacto directo del cemento con la piel y las mucosas. - Observar una higiene personal adecuada. - No comer durante la manipulación del producto. 	
--	--	--

8.2.5.- Controles de la exposición:

TABLA 72
CONTROLES DE LA EXPOSICION PROFESIONAL

Protección	Equipos de protección personal
Protección respiratoria:	En caso de presencia de polvo de cemento en el aire usar maskarilla específica para partículas.
Protección cutánea:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Llevar guantes impermeables, para uso en mezclas acuosas. ✓ Llevar la indumentaria adecuada adaptada al tipo de trabajo y proteger la piel de proyecciones de pasta de cemento húmeda.

	✓ Cuando se tenga que trabajar arrodillado se recomienda rodilleras impermeables.
Protección de los ojos:	Llevar gafas de protección homologadas en caso de riesgo de polvo o de proyección de pasta sobre los ojos.

8.2.6.- Propiedades físicas y químicas:

TABLA 73
PROPIEDADES ESPECÍFICAS

Información general:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aspecto: polvo gris o blanco. ✓ Olor: inodoro.
Información importante en relación con la salud, la seguridad y el medio ambiente:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ pH en solución acuosa: básico entre 11 y 13.5 ✓ Temperatura de fusión: > 1000 °C ✓ Densidad absoluta: de 2.8 a 3.2 g/cm³ a 20 °C ✓ Densidad aparente: de 0.9 a 1.2 g/cm³ a 20 °C ✓ Solubilidad en agua: 1.5 g/l a 20 °C ✓ Temperatura de inflamación: no aplicable ✓ Granulometría: del orden de 20 a 30 % de finos <a 5m.
Estabilidad y reactividad:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabilidad: el producto es estable.

Condiciones que deben evitarse:	<p>✓ La humedad puede provocar el fraguado del cemento.</p>
Información toxicológica:	<p><u>Inhalación:</u></p> <p>El cemento puede provocar irritación de la vías respiratorias.</p> <p>El cemento puede provocar irritación de la mucosa nasal. En casos extremos se ha observado una erosión de la mucosa.</p> <p><u>Ingestión:</u></p> <p>En caso de ingestión significativa, el cemento puede causar la irritación del tracto digestivo y provocar dolores abdominales.</p> <p><u>Contacto con la piel:</u></p> <p>El cemento puede irritar la piel por tener sus soluciones acuosas un pH elevado e incluso puede llegar a provocar quemaduras cáusticas en exposiciones significativas.</p> <p><u>Contacto con los ojos:</u></p> <p>Si entra cemento en los ojos puede producir conjuntivitis, irritación de los párpados (blefaritis) y provocar lesiones de los globos oculares.</p> <p><u>Patología crónica cutánea:</u></p>

	<p>En caso de contacto prolongado sin protección, pueden aparecer lesiones como dermatitis fisurativas, ulceraciones, hiperqueratosis, generalmente en los dedos.</p>
<p>Información ecológica:</p>	<p><u>Ecotoxicidad:</u></p> <p>En caso de derrame accidental de cemento en el agua se puede producir una débil subida de su pH. El cemento fraguado es un material estable que fija sus compuestos y los hace insolubles.</p> <p><u>Movilidad:</u> ninguna.</p> <p><u>Persistencia y degradabilidad:</u> ninguna.</p> <p><u>Potencial de bio acumulación:</u> ninguno.</p> <p><u>Otros efectos nocivos:</u> ninguno.</p>

8.3.- IDENTIFICACION Y EVALUACION DE RIESGOS:

CUADRO 2
IDENTIFICACION DE PELIGRO, EVALUACION DE RIESGO Y CONTROL

IDENTIFICACION DE PELIGROS Y EVALUACION DE RIESGOS

TAREA	PELIGROS	RIESGO	CONSECUENCIAS	MEDIDAS DE CONTROL EXISTENTE	Nº	PROBABILIDAD					INDICE DE PROBABILIDAD X	GRADO DE RIESGO	RIESGO SIGNIFICATIVO	MEDIDAS DE CONTROL PROPUESTAS	
						INDICE DE	INDICE DE	INDICE DE	INDICE DE	INDICE DE					
TRASLADO DE LA MATERIA PRIMA	Mecánico: Proyección de material particulado-caliza y la arcilla	Contacto con partículas de polvo inorgánico	Lesión en ojos, Inhalación de las partículas	USO DE EPP	5	2	2	1	3	8	3	24	IM	SI	Supervisión y control; uso de EPP
	Físico: Trabajo en altura					2	2	1	1	6	2	M			

		Caida a desnivel	Golpe y lesiones en distintas partes del cuerpo	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO, USO DE EPP							1 2		N O	Capacitación, Equipos de protección
	Locativo: Falta de señalización en los pasadizos para el desplazamiento del personal con los camiones	Choques y caídas a nivel	Golpe y lesiones en distintas partes del cuerpo	REALIZAR ORDEN Y LIMPIEZA; SEÑALIZACIONES	2	2	2	1	7	1	7	TO	N O	Señalizar, capacitación, Supervisión y control, Procedimientos de trabajo, Observaciones de seguridad, uso EPP
	Locativo: Tránsito de monta carga	Atropellamiento	Lesión en distintas partes del cuerpo	SEÑALIZACIÓN, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	1	1	1	5	2	1 0	M	N O	Señalización, capacitación
	Ergonómico: Postura prolongada de pie	Riesgo postural durante periodos largo de tiempo	Dolor osteomuscular, Lumbalgia laboral, dolor de espalda; dolor de cintura	CAPACITACIÓN, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	2	2	2	8	1	8	TO	N O	Capacitaciones, ejercicios
	Ergonómico: Movimientos repetidos de manos y ojos	Flexión de manos. Exigencia visual	Lesión en ojos, Fatiga visual. Síndrome del túnel carpiano	CAPACITACIÓN, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	2	2	2	8	1	8	TO	N O	Capacitaciones, ejercicios
MOLIENDA	Mecánico: Proyección de material particulado-caliza y la arcilla	Contacto con partículas de polvo inorgánico	Lesión en ojos, Inhalación de las partículas	USO DE EPP	2	2	1	3	8	3	2 4	IM	SI	Supervisión y control; uso de EPP
	Físico: Trabajo en altura	Caida a desnivel	Golpe y lesiones en distintas partes del cuerpo	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO, USO DE EPP	2	2	1	1	6	2	1 2	M	N O	Capacitación, Equipos de protección
	Locativo: Falta de señalización en los pasadizos para el desplazamiento del personal	Caídas a nivel	Golpe y lesiones en distintas partes del cuerpo	REALIZAR ORDEN Y LIMPIEZA; SEÑALIZACIONES	2	1	2	1	6	2	1 2	M	N O	Señalizar, capacitación, Supervisión y control, Procedimientos de trabajo, Observaciones de seguridad, uso EPP
	Mecánico: Equipos peligrosos, fajas transportadoras	Atrapamiento	Lesión	CAPACITACIÓN, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	2	1	1	6	3	1 8	IM	SI	Capacitación, supervisión, guardas protectoras

	Físico: Ruido	Exposición de niveles altos de exposición sonora	Hipoacusia (perdida de la capacidad auditiva)	CAPACITACION, USO DE EPP	2	1	1	3	7	2	1	M	M	Equipos de protección personal, capacitación
	Ergonómico: Postura prolongada de pie	Riesgo postural durante periodos largo de tiempo	Dolor osteomuscular, Lumbalgia laboral, dolor de espalda; dolor de cintura	CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	1	2	2	7	2	1	M	M	Capacitaciones, ejercicios
	Eléctrico: Tableros eléctricos	Contacto con corriente eléctrica	Electrocución, quemaduras	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO, USO DE EPP	2	1	1	1	5	2	1	M	M	Capacitación, supervisan y control; Procedimientos de trabajos, Observaciones de seguridad; uso de EPP
	Ergonómico: Contenido de la tarea	Desarrollo de trabajo monótono, repetitividad de tareas	Estrés discomfort laboral		2	2	2	1	7	1	7	TO	M	
	Ergonómico: Movimientos repetidos de manos y ojos	Flexión de manos. Exigencia visual	Lesión en ojos, Fatiga visual. Síndrome del túnel carpiano	CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	2	2	2	8	1	8	TO	M	Capacitaciones, ejercicios
FILTRACION	Mecánico: Equipos peligrosos, fajas transportadoras	Atrapamiento	Lesión	CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	1	1	1	1	4	2	8	TO	N	Capacitación, supervisión, guardas protectoras
	Físico: Térmico	Altas temperaturas	Quemaduras; Estrés térmico	USO DE EPP	3	1	1	1	4	2	8	TO	N	Capacitación, Supervisión y control; Procedimientos de trabajos; Observaciones de seguridad; uso de EPP
	Eléctrico: Contacto con equipo	Contacto con corriente eléctrica	Electrocución, quemaduras	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO, USO DE EPP	1	1	1	1	4	2	8	TO	N	Capacitación, supervisión y control;

																		Procedimientos de trabajos, Observaciones de seguridad; uso de EPP
	Ergonómico: Postura prolongada de pie	Riesgo postural durante periodos largo de tiempo	Dolor osteomuscular, Lumbalgia laboral; dolor de espalda; dolor de cintura	CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO		1	2	2	2	7	2	1	4	M	NO	Capacitaciones, ejercicios		
	Locativo: Falta de señalizaciones en los pasadizos para el desplazamiento del personal	Caida a nivel	Golpe y lesiones en distintas partes del cuerpo	REALIZAR ORDEN Y LIMPIEZA; SEÑALIZACIONES		1	2	2	2	7	1	7	TO	NO	Señalizar, capacitación, supervisión y control, procedimientos de trabajo, Observaciones de seguridad, uso de EPP			
	Mecánico: Golpe por caído de objetos	Contacto con tolva con producto por caídas al manipuleo	Lesiones en distintas partes del cuerpo	INSTRUCCIONES DE TRABAJO, CARGIO, CARGA, DESCARGA Y ALMACENAMIENTO		1	2	2	2	7	2	1	4	MO	NO	Capacitación, supervisión y control; Procedimientos de trabajos, Observaciones de seguridad; uso de EPP		
	Ergonómico: Movimientos repetidos de manos y ojos	Flexión de manos. Exigencia visual	Lesión en ojos, Fatiga visual. Síndrome del túnel carpiano	CAPACITACIONES, INSTRUCCIONES DE TRABAJO		1	2	2	2	7	2	1	4	MO	NO	Capacitaciones, ejercicios		
	Ergonómico: Contenido de la tarea	Desarrollo de trabajo monótono, repetitividad de tareas	Estrés discomfort laboral			1	1	2	2	6	1	6	TO	NO				
HORNEADO	Mecánico: Proyección de material particulado-caliza y la arcilla	Contacto con partículas de polvo inorgánico	Lesión en ojos, Inhalación de las partículas	USO DE EPP	5	2	2	1	2	7	3	2	1	IM	SI	Supervisión y control; uso de EPP		
		Atrapamiento	Lesión			2	2	1	1	6	2			M				

	Mecánico: Equipos peligrosos, fajas transportadoras			CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO							1 2		N O	Capacitación, supervisión, guardas protectoras
	Físico: Térmico	Altas temperaturas	Quemaduras; Estrés térmico	USO DE EPP	2	1	1	2	6	2	1 2	M	N O	Capacitación, supervisión y control; Procedimientos de trabajo, Observaciones de seguridad; uso de EPP
	Eléctrico: Tableros eléctricos	Contacto con corriente eléctrica	Electrocución, quemaduras	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO, USO DE EPP	2	1	1	1	5	2	1 0	M	N O	Capacitación, supervisión y control; Procedimientos de trabajo, Observaciones de seguridad; uso de EPP
	Físico-químico: Llamas de fuego-exposición	Exposición a gases y a vapores	Quemadura, Lesión	CAPACITACION E INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	2	2	2	8	3	2 4	IM	SI	Capacitación de prevención y lucha contra incendios
	Físico: Trabajo en altura	Caida a desnivel	Golpe y lesiones en distintas partes del cuerpo	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO, USO DE EPP	2	2	2	1	7	2	1 4	M	N O	Capacitación, equipos de protección
	Locativo: Falta de señalización en los pasadizos para el desplazamiento del personal	Caida a nivel	Golpe y lesiones en distintas partes del cuerpo	REALIZAR ORDEN Y LIMPIEZA; SEÑALIZACIONES	2	2	2	2	8	1	8	TO	N O	Señalizar, capacitación, Supervisión y control, procedimiento de trabajo, Observaciones de seguridad, uso de EPP
	Ergonómico: Postura prolongada de pie	Riesgo postural durante periodos largo de tiempo	Dolor osteomuscular, Lumbalgia laboral; dolor de espalda; dolor de cintura	CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO	2	2	2	2	8	1	8	TO	N O	Capacitaciones, ejercicios
	Físico: Térmico				2	2	2	1	7	2		M		

		Contacto con producto caliente	Quemaduras en distintas partes del cuerpo	CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO								14		N O		
	Físico: Ruido	Exposición de niveles altos de exposición sonora	Hipoacusia (perdida de la capacidad auditiva)	CAPACITACION, USO DE EPP		2	2	1	3	8	2	16	M	N O	Equipos de protección personal, capacitación	
ENVASADO Y ALMACENADO	Ergonómico: Trabajo prolongado de pie y con flexión	Riesgo postural: Esfuerzo estático y dinámico	Lumbalgia	CAPACITACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO, EJERCICIOS	8									N O	Capacitación, ejercicios	
	Locativo: Almacenamiento inadecuado	Caidas	Lesión	INSTRUCCIONES DE TRABAJO, CARGIO, CARGA, DESCARGA Y ALMACENAMIENTO											N O	Señalización, orden y aseo
	Locativo: Transito de montacargas	Riesgo: Atropellamiento	lesión	SEÑALIZACION, INSTRUCCIONES DE TRABAJO			3	2	2	2	9	1	9	M	N O	Señalización, capacitación
	Locativo: Apilamiento elevado	Caidas	lesión	INSTRUCCIONES DE TRABAJO, CARGIO, CARGA, DESCARGA Y ALMACENAMIENTO			3	1	2	2	8	1	8	TO	N O	
															N O	Orden y aseo
							3	2	2	2	9	1	9	M	N O	Supervisión y control, Uso de EPP
	Mecánico: Proyección de material particulado-caliza y la arcilla	Contacto con partículas de polvo inorgánico	lesión en ojos, Inhalación de las partículas	USO DE EPP		3	2	2	2	9	1	9	M	N O		

* Fuente: Autor

8.4.- INSPECCIONES DE SEGURIDAD:

8.4.1.- Manual de contingencia:

PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA OBTENCION DEL CEMENTO HIDRAULICO

1.- Introducción

2.- Objetivos

3.- Identificación de áreas críticas.

4.- Organización del sistema de respuesta.

4.1.- Comité de crisis

4.2.- Responsabilidades de los miembros del comité de crisis

4.2.1.- Presidente del comité de crisis

4.2.2.- Presidente alterno

4.2.3.- Coordinador de campo

4.2.4.- Jefe de brigada de contingencia

4.2.5.- Jefe de primeros auxilios

5.- Operaciones de respuesta

5.1.- Procedimiento de notificación

5.1.1.- Procedimiento de comunicación

5.1.2.- Comunicación al Ministerio de Energía y Minas y a los fiscalizadores

5.1.3.- Comunicación con otras instituciones de apoyo

5.1.4.- Comunicación a las comunidades

5.1.5.- Comunicación a los Medios de Comunicación

5.2.- Procedimiento de respuesta

5.2.1.- Niveles de alerta

5.2.2.- Procedimiento de respuesta ante contingencias

5.2.3.- Procedimiento de respuesta ante emergencias

5.3.- Actividades de mitigación

5.3.1.- Mitigación física

5.3.2.- Mitigación química

5.3.3.- Revegetación

5.4.- Planes de disposición y eliminación

6.- Evaluación de la emergencia

7.- Capacitación y simulacros

1.- INTRODUCCION:

El presenta plan de contingencia que ha sido elaborado en cumplimiento con el sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional y a la ley que establece la obligación de elaborar y presentar planes de contingencia; con el fin de proporcionar las estrategias y alternativas disponibles para la respuesta a emergencias, bajo distintas circunstancias.

1. La seguridad de las personas.
2. La protección del medio ambiente.
3. La protección de la propiedad

2.- OBJETIVOS:

- Salvar vidas humanas.
- Minimizar los daños al medio ambiente y a la propiedad.
- Restaurar las actividades lo más pronto posible.

- Conocer los puntos de peligro real, los medios disponibles y las carencias existentes.
- Ayudar al personal a prevenir y ejecutar rápidamente acciones correctivas adecuadas ante la ocurrencia de un accidente.

3.- IDENTIFICACION DE AREAS CRÍTICAS:

Análisis de riesgos:

Tabla N° 1: Escala de probabilidad

Categoría	Código	Nivel de Descripción
Frecuente	A	Probabilidad de ocurrir repentinamente durante la actividad / operación, casi seguro
Razonablemente Probable	B	Probabilidad de ocurrir varias veces, muy probable
Ocasional	C	Probabilidad de ocurrir algunas veces, posible
Remoto	D	No probable pero posible, remoto
Extremadamente Improbable	E	Probabilidad de ocurrencia es casi cero, muy remoto

Tabla N° 2: Consecuencias Potenciales

Categoría	Código	Palabra Descriptiva	Consecuencias Potenciales	
			Medio Ambiente	Enfermedad / lesiones
Tipo IV	4	Catástrofe	Puede ocasionar daños a la salud de la población y/o medio ambiente.	Muertes o incapacidad permanente por heridas o enfermedades ocupacionales.

Tipo III	3	Crítica	Puede ocasionar daños a la seguridad y salud de los empleados y/o medio ambiente en las operaciones mineras. Su corrección requerirá personal especializado y gastos.	Heridas o Enfermedades ocupacionales severas.
Tipo II	2	Marginal	Puede ocasionar daños limitados al medio ambiente. Su corrección requerirá personal especializado y gastos.	Heridas o Enfermedades menores.
Tipo I	1	Menor	Presenta poco riesgo de contaminación al medio ambiente y requiere acciones correctivas menores.	Sin riesgos personales.

Para la valoración de los riesgos se utilizó la siguiente matriz:

		Escala de Probabilidad				
		A	B	C	D	E
Consecuencias Potenciales	4	3				
	3			2		
	2				1	
	1					

Los riesgos tipificados en 3 son considerados como RIESGOS ALTOS, los catalogados en 2 como RIESGOS MODERADOS y los asignados a la Categoría 1 como RIESGOS BAJOS.

Tabla 3: Identificación de áreas críticas

Área Crítica	Peligro Latente		
	Eventos Indicadores	Sucesos no deseados	Efectos Ocupacionales y Ambientales
Transporte de la materia prima desde la cantera hasta la zona de trituración	<ul style="list-style-type: none"> -Inadecuada operación de mantenimiento de los camiones de transporte. -Fallas en los camiones que transportan las materias primas. -Inadecuada habilitación de caminos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Choque -Volcadura -Derrame 	<ul style="list-style-type: none"> -Daño al sistema respiratorio. -Irritación de las mucosas -Daño ambiental a las comunidades aledañas. -Pérdidas humanas y/o materiales
Descarga de las materias primas a las zonas de molturación.	<ul style="list-style-type: none"> Inadecuada operación de descarga de las materias primas 	<ul style="list-style-type: none"> -Derrame de Sólidos. -Generación de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Daño al Sistema respiratorio de los trabajadores. -Daño al Medio Ambiente.
Manejo en las operaciones del proceso	<ul style="list-style-type: none"> -Inadecuada manipulación de las 	<ul style="list-style-type: none"> -Derrame de las Sustancias. -Generación de 	<ul style="list-style-type: none"> -Daños personales. -Daños al suelo.

	Sustancias. -Inadecuada acumulación y disposición de desechos. -Inadecuada manipulación de los equipos.	Residuos contaminantes -Incendios y explosiones. -Generación de gases de combustión.	-Daño al Medio ambiente
Almacenamiento del producto final.	-Inadecuada manipulación y almacenamiento de Sustancias. -Falla en los Sistemas de señalización. -Inadecuada acumulación y disposición de desechos.	-Derrame de sólidos contaminantes -Generación de Residuos contaminantes. -Incendio.	-Daño a la salud de los trabajadores. -Exposición prolongada de los operadores a la sustancia derramada. -Pérdidas humanas y/o materiales. -Contaminación del Medio Ambiente.

4.- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE RESPUESTAS:

La Organización diseñada para dar Respuesta a la Contingencia, tiene la finalidad de prevenir y atender estos eventos, que pueden causar daño a las personas, propiedad, mercadería y alteración del medio ambiente en las operaciones de carga, descarga, almacenamiento, transporte y

manipulación de Sustancias; por lo que las áreas críticas determinadas deberán ser tratadas, según lo indicado en el presente Plan.

4.1.- COMITÉ DE CRISIS:

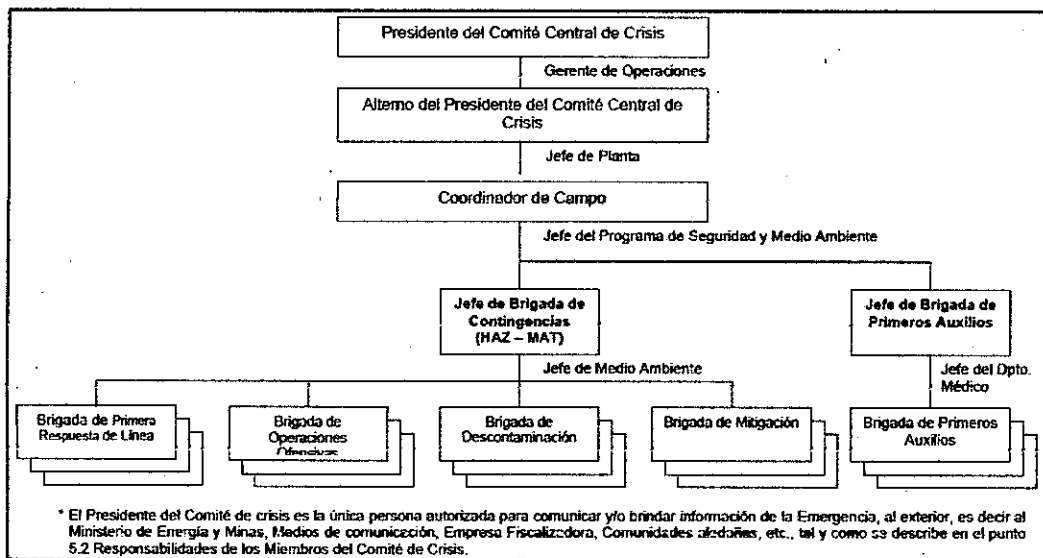
La organización diseñada en el presente Plan, estará encargada de coordinar los recursos humanos, logísticos y tecnológicos a movilizar en cualquier tipo de contingencias. El Comité Central de Seguridad se transformará automáticamente en el Comité de Crisis, el cual estará encargado de coordinar con las diferentes Brigadas, las acciones que se llevarán a cabo antes, durante y después del suceso. Para cumplir tal fin, el Comité estará provisto de todos los sistemas de comunicación y facilidades para el control de la contingencia.

Tabla 4: Miembros del comité de crisis

Cargo en el C. de Crisis		Cargo en el Proyecto
Presidente	:	Gerente de Operaciones.
Alternos	:	Jefe de Planta.
Coordinador de Campo	:	Jefe del Programa de Seguridad y Medio Ambiente.
Jefe Brigada de Contingencias con sustancias peligrosas (HAZ – MAT)	:	Jefe de Medio Ambiente
Jefe Brigada de 1º Auxilios	:	Jefe del Departamento Médico

Fuente: Minera La Zanja

ORGANIGRAMA DEL COMITÉ CENTRAL DE CRISIS



Fuente Minera Zanja

4.2.- RESPONSABILIDADES DE LOS MIEMBROS DEL COMITÉ DE CRISIS

4.2.1.- PRESIDENTE DEL COMITÉ DE CRISIS

- Mantiene estrecha coordinación con la gerencia general, informándola y diagnosticando; sobre lo que sucede en el lugar del accidente.
- Activa el plan general de contingencia.
- Establece las prioridades de la campaña para atender el accidente.
- Autoriza el traslado del personal apropiado al lugar del accidente.
- Coordina el traslado de las posibles víctimas a lugares previamente establecidos

4.2.2.- PRESIDENTE ALTERNO

- Reemplaza y/o dirige al Presidente de Comité de Crisis en las responsabilidades mencionadas anteriormente.
- Se dirige al lugar del accidente al recibir la autorización del Presidente del Comité de Crisis, con la finalidad de obtener mayor información.

4.2.3.- COORDINADOR DE CAMPO

Asumirá el control total de la respuesta en el lugar de los hechos.

- Asume su puesto de comando, liderando y coordinando con los Jefes de brigadas en el lugar del accidente.
- Evalúa las condiciones de seguridad y juzga la magnitud de la contingencia.
- Desarrolla el plan de acción para disminuir los impactos que genera cualquier evento de contingencias.
- Garantiza el cumplimiento de las responsabilidades, mediante la aplicación eficaz de un trabajo en equipo entre los miembros de las diferentes brigadas.
- Elabora un informe detallado de los logros obtenidos por la aplicación del Plan de Contingencia.
- Garantiza que los equipos y materiales que se necesiten lleguen en forma oportuna.

4.2.4.- JEFE DE BRIGADA DE CONTINGENCIAS

En el caso que sucediera una Contingencia con Materiales peligrosos, el Jefe de Brigada de contingencias en el manejo de sustancias peligrosas, tendrá las siguientes responsabilidades:

- Asume su puesto de comando en el lugar del accidente y dirige las actividades.
- Evalúa las condiciones de seguridad y juzga la magnitud del accidente.
- Convoca y organiza al personal clave del equipo de respuesta de contingencias en el manejo de sustancias peligrosas, según lo considere apropiado para enfrentar la situación, para proteger la salud y la vida humana, disminuir a límites razonables la contaminación al medio ambiente y proteger la propiedad.
- Desarrolla el Plan de Acción para la contención y mitigación específicamente de la sustancia que ocasiona la contingencia.

El Equipo de Respuesta estará dividido en las siguientes Brigadas:

1. **Brigada de Primera Respuesta de Línea:** Esta es la primera en llegar al lugar del accidente, se encargará de aislar la zona peligrosa e impedir la entrada a las personas no autorizadas y/o aquellas que no cuentan con el Equipo de Protección personal adecuado.

2. Brigadas de Segunda Respuesta:

Brigada de Operaciones Ofensivas: Encargada de evacuar a posibles heridos y a controlar el derrame, incendio, etc, que ocurriera. Este personal ingresará con el Equipo de Protección adecuado.

Brigada de Descontaminación: Esta brigada se encargará, como su propio nombre lo dice de descontaminar a posibles heridos y al personal de Respuesta Ofensiva, cada vez que salgan del área contaminada.

Nota: Ninguna persona de la Brigada ingresará al lugar del accidente, mientras el Equipo de descontaminación no se encuentre totalmente instalado.

Brigada de Mitigación: Una vez controlada la emergencia, el personal de la Brigada de Mitigación, procederá con la operación de Limpieza, neutralizando la Sustancia derramada, para su posterior eliminación.

4.2.5.- JEFE DE PRIMEROS AUXILIOS

El Jefe de Primeros auxilios deberá:

- Seleccionar y preparar al personal necesario.
- Establecer estaciones de primeros auxilios y un centro de tratamiento médico.
- Organizar y alentar a todos los trabajadores para que asistan a cursos de primeros auxilios.
- Verificar el abastecimiento oportuno de material médico y equipo de primeros auxilios para atender posibles heridos.
- Controlar periódicamente la fecha de vencimiento de los medicamentos.
- Coordinar el eficaz traslado de los heridos a los centros hospitalarios.
- Elaborar los informes respectivos y presentarlos al Comité de Crisis.

- En coordinación con la Brigada de Evacuación, efectuarán prácticas de evacuación y rescate en el campamento; incentivando la intervención de todo los trabajadores y pobladores del campamento.

5.- OPERACIONES DE RESPUESTA

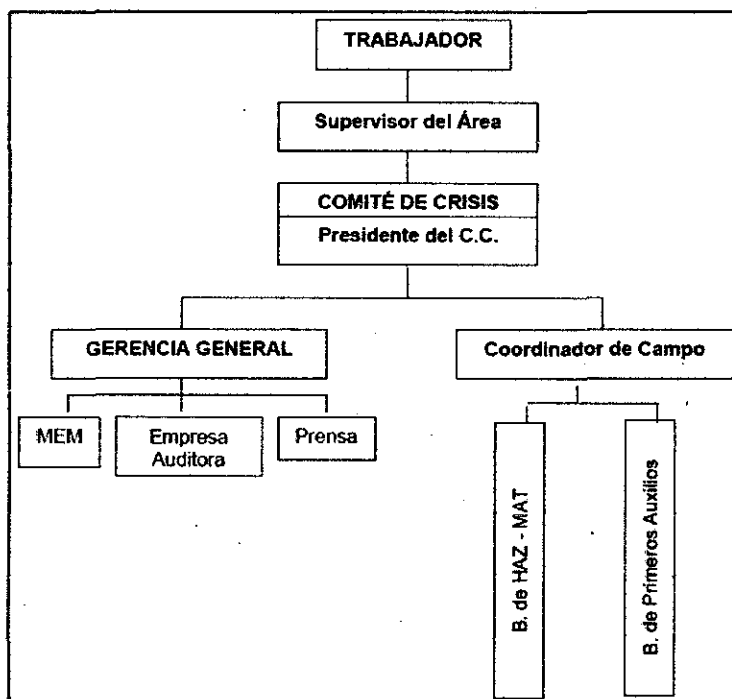
5.1.- PROCEDIMIENTO DE NOTIFICACIÓN

5.1.1.- PROCEDIMIENTO DE COMUNICACIÓN

En el caso que se detecte cualquier contingencia, dentro del Proyecto; el sistema de comunicaciones debe de iniciarse de la siguiente manera:

- a) El primer testigo, comunicará al Jefe de área sobre el accidente ocurrido.
- b) El Jefe de Área comunicará al Presidente del Comité de Crisis sobre la ocurrencia del accidente.
- c) El Presidente del Comité de Crisis, asumirá el control de la contingencia y será el responsable de comunicar al Coordinador de Campo y sus Brigadas, para que actúen de inmediato, si el accidente lo amerita, comunicará a las demás Instituciones de Apoyo (Bomberos / Defensa Civil / PNP) así como también a las comunidades aledañas, para recibir el apoyo necesario.

FLUJO DE COMUNICACIÓN ANTE UNA CONTINGENCIA EN EL PROYECTO



5.1.2.- COMUNICACIÓN AL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS Y A LOS FISCALIZADORES

La notificación de las pérdidas humanas se deberá comunicar a las siguientes dependencias:

- Defensa Civil.
- Ministerio de Energía y Minas – Dirección de Fiscalización Minera de la Dirección General de Minería.

La notificación de accidentes ambientales debe realizarse dentro de las 24 horas siguientes a la Dirección General de Minería, Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas y a la Empresa Fiscalizadora Externa (EFE). La información estará a cargo del Presidente del Comité de Crisis en coordinación con el Gerente General y se efectuará a través del fax, utilizando el Anexo N° 7 del Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, confirmándose telefónicamente la recepción del mismo.

a. Comunicación oficial:

- ✓ Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Minería. Teléfono: 475 – 0065 Anexo: 2421
- ✓ Ministerio de Energía y Minas – Dirección de Fiscalización Minera. Teléfono: 475 – 0065 Anexo: 2431
- ✓ Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Asuntos Ambientales. Teléfono: 475 – 0065 Anexo: 2471

b. Empresa Inspector y Auditora:

Se informará a la Empresa Fiscalizadora que corresponda en el año.

5.1.3.- COMUNICACIÓN CON OTRAS INSTITUCIONES DE APOYO.

Las instituciones de apoyo están constituidas por la Policía Nacional, Hospitales, EsSalud, Cuerpo de Bomberos Voluntarios, Defensa Civil, los cuales serán comunicados según el nivel del accidente evaluado por el Comité de Crisis.

5.1.4.- COMUNICACIÓN A LA COMUNIDADES

Las Comunidades involucradas en el accidente serán debidamente informadas e integradas por intermedio del Comité de Crisis, especialmente en las acciones y medidas que se ejecutarán y/o se están ejecutando. Es aconsejable y muy importante que la persona que entable esta comunicación, sea un profesional en manejo de óptimas relaciones Comunitarias y Sociales.

5.1.5.- COMUNICACIÓN CON LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

El tener una relación productiva con los medios de comunicación es positivo debido a que ellos tienen una red de distribución de información amplia. Por lo cual no es apropiado evitar el contacto con los medios de comunicación ya que podrían crear versiones equivocadas.

5.2.- PROCEDIMIENTO DE RESPUESTA

El Plan de Respuesta a la Contingencia tiene por finalidad establecer los procedimientos y acciones adecuadas, efectivas y oportunas que serán aplicadas para minimizar y/o eliminar las

pérdidas relacionadas a personas, mercadería, vehículos, instalaciones de la planta, propiedades de terceros y el impacto negativo al medio ambiente ocurridas por un accidente o Contingencia durante las operaciones.

5.2.1.- Niveles de Alerta

Sobre la base del grado de severidad de las contingencias, éstas son clasificadas en TRES NIVELES DE ALERTA. Esta clasificación convencional sirve para mejorar significativamente la comunicación, la atención y velocidad de respuesta a la contingencia. Siendo el nivel de alerta UNO el menor y el más alto o más severo es el nivel de alerta TRES.

a. Nivel de Alerta Uno: Cuando un accidente es menor, donde se requiere que sólo el trabajador que se encuentra en la zona donde ocurre el accidente, tome las acciones necesarias, consideradas dentro de sus responsabilidades, como derrames pequeños y localizados

b. Nivel de Alerta Dos: Se refiere a un accidente de nivel moderado que no causa ningún daño público o al ambiente y que necesite la participación sólo del equipo de respuesta del Proyecto para controlar el accidente, en este nivel se informa al Jefe del Programa de Seguridad y Medio Ambiente.

c. Nivel de Alerta Tres: Un accidente mayor que supere la capacidad del equipo de respuesta del Proyecto, donde incluye Contingencias y Emergencias asociadas (como incendios, explosiones, etc), las que tienen una magnitud tal que ponen en riesgo la salud humana y el ambiente. En este nivel se podrá solicitar la ayuda de organizaciones regionales, nacionales o internacionales, según amerite el caso.

5.2.2.- PROCEDIMIENTO DE RESPUESTA ANTE CONTINGENCIAS

Una vez producido el accidente, se procederá de la siguiente manera:

- ✓ Primera Respuesta ante una contingencia en el Manejo de sustancias peligrosas; ejecutado por el personal que observó la Contingencia, los cuales están entrenados para responder eficazmente ante una Contingencia.
- ✓ Paralelamente, procederán a comunicar, por la vía más rápida, con el Presidente del Comité de Crisis. Cercar el área del accidente con las cintas de Seguridad y no dejar

pasar a personas extrañas. Y en el caso de que el derrame fuera incipiente tratar de contener sin poner en riesgo su integridad física.

- ✓ El presidente del Comité de Crisis, evaluando la magnitud de la Contingencia y de acuerdo a los niveles de alerta; dará instrucciones al Coordinador de Campo y Jefe de la Brigada de Contingencia y éstos, según el caso se dirigirán al lugar de los hechos en el acto.
- ✓ De acuerdo a la evaluación, la Brigada de Contingencia, actuará inmediatamente con procedimientos técnico y socialmente más adecuados; con el fin de controlar en forma eficaz y sólida la Contingencia.
- ✓ Asimismo, el Comité de Crisis deberá solicitar a la dependencia correspondiente (SENAMHI), los datos referentes a las condiciones meteorológicas de la zona, con la finalidad de mantener informado al Coordinador de Campo.
- ✓ El Coordinador de Campo, el Jefe de Brigada y los demás integrantes del Comité de Crisis, evaluarán el estado del evento, teniendo en cuenta lo siguiente:
 - Tipo y magnitud del derrame:
 - Riesgo potencial: De la Sustancia y/o sustancias involucradas.
 - Posibles efectos: Considerando la ubicación y prioridades de protección de: los trabajadores involucrados, los centros poblados, instalaciones de servicios básicos, áreas de importancia ecológica y económica.
 - Condiciones del Lugar: Características meteorológicas y del medio terrestre, condiciones que deben garantizar un desarrollo seguro de las operaciones de respuesta.
 - Estrategias a adoptar en respuesta al accidente: estimación de los recursos necesarios para la respuesta incluyendo los humanos propios y de organismos de apoyo (bomberos, defensa civil, etc.) así mismo, el tiempo de desplazamiento de dichos recursos al lugar de la Contingencia.
 - En el caso, que los recursos que tiene el Proyecto no sean suficientes, para contener la contingencia, se procederá a activar el Plan Local de Contingencia, coordinándose con las Instituciones de Apoyo que estén cerca al lugar de la Contingencia, con la finalidad de poder contenerla en forma eficaz.

- La participación de un Profesional en manejo de Relaciones Comunitarias en la inspección; es de gran importancia para la evaluación del impacto ambiental ocasionado por el derrame, siempre en comunicación con el Coordinador de Campo para que mitiguen el derrame y minimicen el impacto ambiental.

5.2.3.- PROCEDIMIENTO DE RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS

Fallas en el horno:

- ✓ Inspección del sistema de operación.
- ✓ Intervención de la Brigada de Segunda respuesta.

Volcadura del traslado del material:

- ✓ Intervención de la Brigada de Segunda respuesta

Rotura de la Tubería:

- ✓ Cambio de bombeo por el Sistema de Stand Bye
- ✓ De acuerdo a la magnitud, intervención de la cuadrilla de Primera o Segunda respuesta.

5.3.- ACTIVIDADES DE MITIGACION

El objetivo primario de toda mitigación es eliminar y/o minimizar la extensión de la contaminación y las consiguientes amenazas para la salud y el medio ambiente. Un control apropiado de una emergencia, puede facilitar la limpieza y la descontaminación del área. El control inadecuado puede extender significativamente la contaminación.

5.3.1.- MITIGACION FÍSICA

Es el control y contención de un material peligroso sin modificar su constitución química. Los materiales son almacenados en forma segura, pero todavía son peligrosos en la naturaleza.

Se pueden desarrollar los siguientes métodos:

Tabla 5: Métodos de mitigación física

Método	Descripción
Absorción	Utiliza un material absorbente para retener líquidos o gases pero al mojarse con el material absorbido aumenta el volumen.
Cubrir	Reduce la dispersión de sólidos, líquidos y vapores emitidos de vapores emitidos de sólidos o líquidos.
Dilución	Reduce la concentración, pero agregando agua aumenta su volumen y movilidad.
Dirigiendo	Utiliza una fuente externa de energía como agua rociada o un ventilador de aire grande para mover los materiales derramados en la dirección deseada. Los gases más pesados que el aire pueden ser empujados en la dirección deseada usando un sistema de ventilación de un camión de espuma de alta expansión.
Dispersión	Utiliza un rocío fino de agua para romper gases y vapores. Los gases y vapores inflamables pueden reducir la concentración de su límite bajo de explosividad utilizando este método. Los gases solubles en agua pueden ser "Tumbados" por solución con neblina de agua y ser diluidos.
Desviación	Dirigir el flujo lejos de una fuente de contaminación.
Capa de Espuma	Formar una capa de espuma sobre la superficie del sólido o líquido, para reducir la emisión de vapores.
Cubiertas Físicas	Utilizan una capa de plástico o de arcilla sobre el material derramado para contener la liberación de vapores.
Parcheado y Taponeado	Con materiales compatibles se puede detener una fuga de un tanque, puede usarse para el control de sólidos, líquidos y gases.
Supresión de Vapores	Reduce los vapores provenientes de derrames volátiles usando dispersión, capas de espuma o cubiertas físicas.
Contención	Se pueden utilizar represas pequeñas como sacos de arena, tierra, arcilla, bolsas llenas de agua, tablas y concreto; así como diques que ayudan a la contención de un derrame grande. En las áreas urbanas, como calles pavimentadas obliga a tapar las descargas a cuerpos de agua. Los drenajes pluviales, alcantarillas, registros, arroyos. Tapas, espumas de poliuretano, represas de tierra y otros métodos pueden ser usados para desviar el producto.

5.3.2.- MITIGACION QUIMICA

Utiliza químicos específicos para neutralizar o cambiar la naturaleza de las sustancias tóxicas derramadas. Cualquier forma de mitigación química tiene que ser aceptada por el Comité de Crisis y puede requerir de aprobación de las autoridades locales o estatales.

Se pueden desarrollar los siguientes métodos:

Tabla 6: Métodos de mitigación química

Método	Descripción
Adsorción	Ocurre cuando el material liberado se liga a la superficie adsorbente, por ejemplo el carbón activado es utilizado para remover material orgánico del agua contaminada.
Incineración controlada	Es utilizado algunas veces, si ocurre la combustión a una temperatura suficientemente alta para destruir todo el material peligroso y así ninguna otra instalación se vea afectada.
Dispersión	Se refiere a la adición de agentes biológicos para romper los líquidos derramados, se usa frecuentemente en derrame de aceites.
Neutralización	Se agrega un químico específico a la sustancia peligrosa para convertirlo en menos peligroso. Esto puede causar cambios en el estado del material, por ejemplo de líquido a sólido, este proceso con frecuencia libera calor. La neutralización también exige un alto grado de la experiencia química porque los químicos específicos deben ser agregados en relación exacta. Es un método utilizado para la mitigación de ácidos y bases en caso de derrames.

5.3.3.- REVEGETACION

Una vez que se ha diagnosticado el estado de contaminación del suelo y subsuelo afectado, se deben plantear alternativas para su limpieza y establecer los niveles de la misma. Se entiende por restauración o limpieza a las acciones que se toman para devolver a un sitio, sus características originales. Es decir restaurar o mejorar la función y la imagen que el suelo tenía antes de haber sido afectado por accidentes y/o embates de la naturaleza.

5.4.- PLANES DE DISPOSICIÓN Y ELIMINACIÓN

En las actividades del rubro cementeras se identifican varios tipos de residuos con diferentes grados de complejidad para su disposición. Es importante la adecuada disposición de estos residuos para evitar y/o minimizar los riesgos de contaminación del recurso hídrico y los suelos.

6.- EVALUACIÓN DE LA EMERGENCIA

Para lograr el mejoramiento continuo, se hará una evaluación de la performance desarrollada por los equipos de respuesta, en el momento de la contingencia, el entrenamiento de respuesta, los procedimientos de notificación, el proceso de toma de decisiones, etc. Esta evaluación se realizará, después de una atención de respuesta a la contingencia o cada seis meses.

El Comité de Crisis, se reunirá para llevar a cabo una revisión de los planes de acción que aplicaron las brigadas en el momento de la Contingencia.

7.- CAPACITACION Y SIMULACROS

Como consecuencia de la política preventiva del Sistema de Gestión de Seguridad, Salud y Medio Ambiente, el presente Plan de Contingencias establecerá un Programa de Capacitación, Entrenamiento y Simulacros no sólo para los operarios, personal de planta, brigada de Contingencia; sino también para las Autoridades Civiles, Policiales y de Comunidades comprendidas en el área de influencia del Servicio.

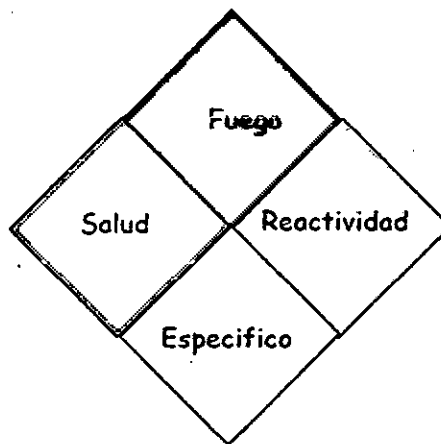
El Programa de Capacitación comprende una metodología para la enseñanza de adultos, la que se sostiene en una enseñanza interactiva, demostrativa y de participación plena y continua de los participantes.

El Programa de Simulacros será realizado sobre la base de la técnica de simulaciones y de prácticas de campo. Estos últimos serán programados dos veces al año con la participación de las autoridades civiles, policiales de la zona y la participación activa de las poblaciones de comunidades y pueblos que están comprendidos en el área de influencia de este servicio de transporte. Así mismo se realizará una vez al año un Simulacro Inopinado en planta.

8.4.2.- Cartilla de respuesta ante las eventualidades dentro de planta:

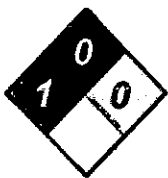



CLASIFICACION SEGÚN LA NFPA (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION)




AZUL		ROJO		AMARILLO	
IDENTIFICACION DE PELIGROS PARA LA SALUD		IDENTIFICACION DE INFLAMABILIDAD		IDENTIFICACION DE REACTIVACION	
Lesión Probable		Nº	Susceptibilidad a la Combustión	Nº	Susceptibilidad de Reactividad
Materiales a los cuales una corta exposición puede causar la muerte o una lesión residual grave aún cuando se haya dado tratamiento médico rápido.		4	Se vaporizan rápidamente a temperatura y presión atmosférica normales y que pueden encenderse con facilidad.	4	Pueden detonar fácilmente, descomponerse o hacer explosión a temperaturas y presiones normales.
Materiales a los cuales una exposición breve podría causar una lesión temporal, así se haya dado un tratamiento médico rápido.		3	Líquidos y sólidos que se puedan encender bajo casi cualquier temperatura ambiental normal.	3	Requieren de una fuente fuerte de energía inicial o que deben calentarse dentro de un espacio restringido antes de que se inicie la reacción o reaccionar explosivamente con el agua.
Materiales a los cuales una exposición intensa o continuada podría causar una incapacidad temporal a menos que se preste tratamiento médico rápido.		2	Materiales que si son calentados moderadamente o expuestos a una temperatura ambiental relativamente alta para que se produzca ignición.	2	Son inestables y fácilmente sufren un cambio químico violento, pero que no detonan. También reaccionan violentamente con el agua o pueden formar una mezcla potencialmente explosiva con el agua.
La exposición puede causar irritación, pero sólo una lesión residual leve aún cuando no se de el tratamiento adecuado.		1	Materiales que deben ser precalentados para que se produzca su ignición.	1	Normalmente estables, inestables a presiones y temperaturas elevadas las cuales pueden reaccionar con el agua para liberar energía aunque no violenta.
No presenta otro peligro que el de un material combustible corriente.		0	Materiales incombustibles.	0	Son normalmente estables aún en caso de incendio y que no reaccionan con el agua.



CARTILLA DE RESPUESTAS EN MANEJO DE SUSTANCIAS PIEDRA CALIZA

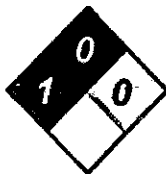
1. Nombre de la compañía	3. Compuesto	4. Clasificación UN	5. Simbología NFPA
2. Teléf. de Emergencia: 178	Piedra caliza	Clase Nº 4 Material solido	


Gerencia de Medio Ambiente			
Jefe del Programa de Seguridad y MA			
6. Estado y aspecto físico:		7. Propiedades Particulares:	
Sólido blanco o negro		Es menos dura que el cobre y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.	
8. Equipo de Protección Personal (E.P.P.)			
<ul style="list-style-type: none">-usar mascarilla específica para partículas.-Llevar la indumentaria adecuada adaptada al tipo de trabajo.-Casco protector.-Estación de lavado de ojos.		<ul style="list-style-type: none">-Llevar guantes impermeables.-Llevar gafas de protección homologadas en caso de riesgo de polvo.-Botas de seguridad.	
9. En caso de Accidente:			
Riesgo		Acciones	
SI OCURRE ESTO 		HAGA ESTO 	
		<ul style="list-style-type: none">-Evaluar la magnitud del accidente e informar inmediatamente al Comité de Crisis.	





DERRAME	<ul style="list-style-type: none"> -Aislar la zona en la cual se produjo el derrame. -No deben ingresar personas sin el equipo de seguridad apropiado. -Suministrar los primeros auxilios a los accidentados.
SI OCURRE ESTO 	HAGA ESTO 
 EXPOSICION	<div data-bbox="805 808 869 894"></div> <div data-bbox="933 797 1236 894"> PRIMEROS AUXILIOS </div> <p><u>Inhalación:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Trasladar al aire fresco. -Si no respira, administrar respiración artificial. -Si respira con dificultad suministrar oxígeno. -Mantener la víctima abrigada y en reposo. -Buscar atención médica inmediatamente. <p><u>Ingestión:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Enjuagar la boca. -No inducir el vómito.

	<p>-Buscar atención médica inmediatamente.</p> <p><u>Ojos:</u></p> <p>-Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.</p> <p><u>Piel:</u></p> <p>-Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.</p>
--	---

**CARTILLA DE RESPUESTAS EN MANEJO DE SUSTANCIAS
ARCILLA**

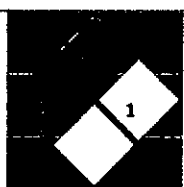
1. Nombre de la compañía	3. Compuesto	4. Clasificación UN	5. Simbología NFPA
2. Teléf. de Emergencia: 178	Arcilla	Clase N° 4 Material solido	
Gerencia de Medio Ambiente			
Jefe del Programa de Seguridad y MA			





6. Estado y aspecto físico:	7. Propiedades Particulares:
Sólido blanco, rojo, café	Las propiedades fisico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 mm).
8. Equipo de Protección Personal (E.P.P.)	
<ul style="list-style-type: none"> -usar mascarilla específica para partículas. -Llevar la indumentaria adecuada adaptada al tipo de trabajo. -Casco protector. -Estación de lavado de ojos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Llevar guantes impermeables. -Llevar gafas de protección homologadas en caso de riesgo de polvo. -Botas de seguridad.
9. En caso de Accidente:	
Riesgo	Acciones
SI OCURRE ESTO ↓	HAGA ESTO ↓
 <p>DERRAME</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Evaluar la magnitud del accidente e informar inmediatamente al Comité de Crisis. -Aislar la zona en la cual se produjo el derrame. -No deben ingresar personas sin el equipo de seguridad apropiado.




	-Suministrar los primeros auxilios a los accidentados.
SI OCURRE ESTO 	HAGA ESTO 
 EXPOSICION	 PRIMEROS AUXILIOS
	<u>Inhalación:</u> -Trasladar al aire fresco. -Si no respira, administrar respiración artificial. -Si respira con dificultad suministrar oxígeno. -Mantener la víctima abrigada y en reposo. -Buscar atención médica inmediatamente. <u>Ingestión:</u> -Enjuagar la boca. -No inducir el vómito. -Buscar atención médica inmediatamente. <u>Ojos:</u> -Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las

	<p>lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.</p> <p><u>Piel:</u></p> <p>-Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.</p>
--	--

**CARTILLA DE RESPUESTAS EN MANEJO DE SUSTANCIAS
COMBUSTIBLE**

1. Nombre de la compañía	3. Compuesto	4. Clasificación UN	5. Simbología NFPA
2. Teléf. de Emergencia: 178	Combustible	Clase N° 3 Líquido	
Gerencia de Medio Ambiente			
Jefe del Programa de Seguridad y MA			
6. Estado y aspecto físico:		7. Propiedades Particulares:	
Líquido oscuro		Toda sustancia que emite o desprende energía por combustión controlada y también es capaz de arder en determinadas condiciones.	

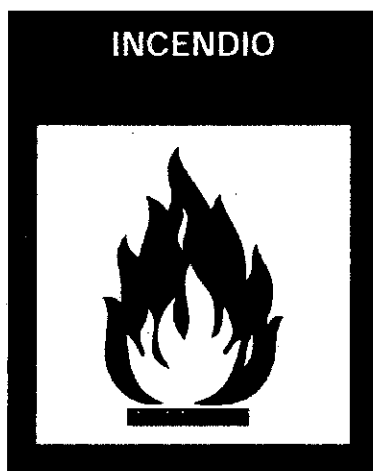
8. Equipo de Protección Personal (E.P.P.)	
<ul style="list-style-type: none"> -usar mascarilla específica. -Llevar la indumentaria adecuada adaptada al tipo de trabajo. -Casco protector. 	<ul style="list-style-type: none"> -Llevar guantes impermeables. -Llevar gafas de protección homologadas en caso de riesgo de vertido. -Botas de seguridad.
9. En caso de Accidente:	
Riesgo	Acciones
SI OCURRE ESTO 	HAGA ESTO 
 FUGA Y DERRAME	<ul style="list-style-type: none"> -Evaluar la magnitud del accidente e informar inmediatamente al Comité de Crisis. -Aislar la zona en la cual se produjo el derrame. -No deben ingresar personas sin el equipo de seguridad apropiado. -Suministrar los primeros auxilios a los accidentados.
	<ul style="list-style-type: none"> -Evaluar el riesgo del accidente e informar inmediatamente a su Supervisor. -Aislar la zona.

FUEGO	<ul style="list-style-type: none"> -Combatir el incendio con extintores de polvo químico sin poner en riesgo la integridad física. -Conducir el agua contaminada a una poza de emergencias. -Suministrar los primeros auxilios a los accidentados.
SI OCURRE ESTO 	HAGA ESTO 
 EXPOSICION	<div data-bbox="805 963 874 1043" data-label="Image"></div> <div data-bbox="932 952 1235 1035" data-label="Section-Header"> PRIMEROS AUXILIOS </div> <div data-bbox="810 1087 954 1118" data-label="Section-Header"> <u>Inhalación:</u> </div> <div data-bbox="810 1140 1203 1537" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> -Administrar oxígeno. -Puede requerir la administración de broncodilatadores, corticoides y antibióticos. -Puede requerir tratamiento del edema agudo de pulmón. </div> <div data-bbox="810 1581 932 1611" data-label="Section-Header"> <u>Contacto:</u> </div> <div data-bbox="810 1633 1203 1821" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> -Probablemente requerirá tratamiento de las quemaduras por congelación cutáneas y corneales. </div>

	-No es preciso retirar las ropas contaminadas excepto si están impregnadas del producto.
--	--

8.4.3.- Entrenamiento y simulacro en casos de emergencia:

8.4.3.1.- Medidas a tomar en caso de incendio:



8.4.3.1.1.- Medidas preventivas: Las principales medidas preventivas destinadas a evitar que se produzca un incendio pueden resumirse en las siguientes:

- Antes de finalizar la jornada laboral se han de desconectar todos los equipos eléctricos, dejando el lugar de trabajo perfectamente ordenado (cajones y armarios cerrados, cigarros apagados y en el cenicero).
- No acercar nunca los materiales, productos o residuos fácilmente inflamables a los focos de calor.
- No han de obstruirse las puertas de las salidas, ni el acceso a los medios de extinción: extintores y bocas de incendios equipadas.
- No se deberá encender fuego o fumar en las zonas donde figure la señalización correspondiente.

- Los productos procedentes de compras que sean inflamables, peligrosos o inestables, estarán provistos de etiquetas que señalen tal circunstancia, según la normativa vigente.
- Cuando no se utilice el producto, deberá almacenarse en lugar seguro.
- No se deberá conectar más de un aparato en un mismo enchufe sin consultar previamente con el Jefe Inmediato.
- No se colocarán adaptadores a los enchufes.
- Antes de realizar de un trabajo con riesgo, se tomaran las medidas adecuadas de prevención, aunque signifique una mayor duración o coste del mismo. En caso de duda, se consultará al Jefe Inmediato o al Servicio de Prevención.
- Cuando se observen situaciones inseguras o peligrosas durante el trabajo, se trasladarán inmediatamente al Jefe de Turno o de Seguridad.
- En particular, se comunicará de inmediato la existencia de material ajeno al lugar de trabajo y del que se desconozca su contenido, procedencia y condiciones de uso.
- Es responsabilidad de cada Jefe de Departamento o Sección el asegurarse de que los trabajadores a su cargo comprendan plenamente el contenido del presente Manual.

8.4.3.1.2.- Extinción de un incendio en general: En caso de detectar un incendio en algún punto de la fábrica, actuar de la siguiente forma:

1º Llamar a la Sala de Control, y notificar la clase de emergencia y el lugar exacto donde se está produciendo.

2º La Sala de Control localizará al Jefe de Turno que acudirá al lugar de la emergencia y tomará las medidas oportunas, de ser necesario.

3° La persona que ha detectado el fuego, se dirigirá al extintor más cercano y verificará que es adecuado para el tipo de fuego que se está produciendo.

	CO ₂	Pólv. Polivalente
Líquidos inflamables	Apto	Apto
Gases	Apto	Apto
Instalación eléctrica	Apto	Apto
Fuegos de sólidos		Apto
Vehículos	Apto	Apto

4° Se aproximará al lugar del incendio, siempre a favor de las llamas, hasta una distancia aproximada de 2 metros.

5° Quitará el pasador de seguridad del extintor, tirando de la anilla.

6° Asirá la manguera del extintor, y apretará la palanca de disparo.

7° Dirigirá el chorro a la base de las llamas.

8° Barrerá horizontalmente la zona de las llamas y de abajo a arriba, conforme se vaya extinguiendo el fuego.

El Jefe de Turno tras analizar la situación, procederá, si es necesario a:

1° Solicitará que se persone personal de fábrica con equipo complementario de extinción para continuar con la extinción.

2° Si la magnitud del incendio lo requiere, solicitará a la Centralita o al Vigilante de Puerta, que avise a los bomberos.

3° Indicará al Vigilante de Puerta Enviar que permanezca en la entrada de fábrica para conducir a los bomberos al lugar del incendio.

4° Coordinará las operaciones de extinción o evacuación si fuera necesario.

5° Cooperará con los Bomberos en el caso de que intervengan.

8.4.3.1.3.- Actuación en caso de incendio en tanque de combustible:

- 1º La persona que detecte un incendio en el tanque de combustible, llamará inmediatamente al teléfono de la Sala de Control.
- 2º La persona que recibe la llamada localizará al Jefe de Turno para notificarle la situación.
- 3º El Jefe de Turno, notificará al presidente del comité de crisis y ordenará a la Telefonista que avise a la brigada de segunda respuesta, si lo considera oportuno.
- 4º El Jefe de Turno solicitará la presencia del capataz de Turno y de varias personas.
- 5º El Jefe de Turno acudirá a la caseta de bombas y accionará la bomba de alimentación de las B.I.E. (Bocas de Incendio Equipadas).
- 6º El Jefe y Capataz de Turno, conjuntamente con el personal que ha acudido procederán a la extinción y refrigeración del tanque hasta su total extinción.
- 7º El Jefe de Turno notificará al Jefe de Medio Ambiente lo sucedido.

8.4.3.1.4.- Actuación en caso de incendio en instalación eléctrica: La persona que observe un fuego en una instalación eléctrica, actuará de la siguiente forma:

- 1º Llamará inmediatamente al teléfono de la Sala de Control.
- 2º La Sala de Control localizará al Jefe de Turno, el cual ordenará desconectar la instalación afectada.
- 3º El Jefe de Turno notificará al presidente del comité de crisis y ordenará a la Telefonista o al Vigilante de Puerta que avise a los Bomberos, si lo considera oportuno.
- 4º La persona asignada del Departamento de Mantenimiento verificará la ausencia de tensión en la instalación afectada.

5° Se procederá a la extinción del incendio por medio de los extintores existentes Polvo Polivalente o preferiblemente de Nieve Carbónica CO₂.

8.4.3.2.- Medidas a tomar en caso de fallo eléctrico:

8.4.3.2.1.- Actuación en caso de ausencia de tensión:



Solo existen grupos electrógenos de arranque automático para suministrar potencia a las máquinas de la instalación consideradas como críticas para el proceso en situación de corte de suministro eléctrico.

Para las demás situaciones:

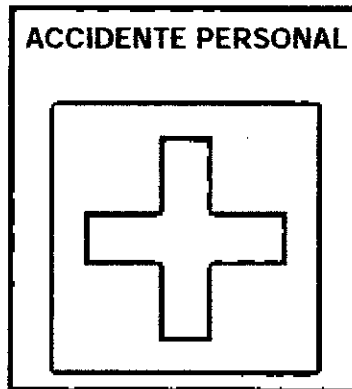
1° Si está utilizando una herramienta o máquina eléctrica, accione el botón de paro para asegurar que no se pondrá en marcha al reiniciarse el suministro eléctrico.

2° Si está trabajando en una zona con falta de iluminación pero dispone de una mínima visibilidad o alumbrado de emergencia, desplácese a un lugar seguro.

3° Si tiene dificultades para ver por donde se mueve o existe riesgo grave de accidente, espere la reposición de la tensión.

4º De disponer de emisora o teléfono cercano, contacte con el Jefe de Turno, para identificar el lugar en que se encuentra y se le pueda facilitar iluminación portátil para evacuar el lugar de trabajo.

8.4.3.3.- Medidas a tomar en caso de accidentes del personal:



8.4.3.3.1.- Actuación al ocurrir un accidente: Las instrucciones de emergencia descritas a continuación son para lesiones que requieren actuación inmediata, dejando los demás casos para los profesionales de la medicina.

Se consideran como casos de actuación inmediata:

- ✓ Accidentes en general con lesión.
- ✓ Accidentes por contactos eléctricos.
- ✓ Accidentes en espacios confinados.

En el primer caso, y de 8h a 14h se actuará de la forma siguiente:

- Notificar a Centralita que solicite una ambulancia, si se intuyen consecuencias graves.
- Notificar al Servicio Médico la situación acaecida.

A partir de las 14h:

- Notificar a Centralita que solicite una ambulancia, si se intuyen consecuencias graves.

8.4.3.3.2.- Actuación en caso de accidentes producidos por electrocución:

Si el accidentado aún está en contacto con los conductos eléctricos:

1º Desconectar la corriente actuando sobre los interruptores de las fuentes de alimentación eléctrica.

2º Comprobar la ausencia de tensión.

3º Apagar el incendio de las ropas si están encendidas.

4º Si ha perdido la respiración y el ritmo cardiaco, aplicar respiración artificial y masaje cardiaco si es necesario.

5º Antes del traslado, darle un vaso de agua con una cucharadita de bicarbonato sódico.

6º Avisar al Jefe de Turno para que active el traslado al botiquín.

8.4.3.3.3.- Actuación en caso de accidente en espacio confinado: Las actuaciones en caso de emergencia en espacios confinados están basadas en que se han cumplido con los procedimientos preventivos para la realización del trabajo. En los trabajos que se realizan en espacios confinados pueden originar cuatro posibles situaciones de emergencia derivadas de ASFIXIA, INTOXICACIÓN, HIPERTERMIA, TRAUMATISMO o ELECTROCUCIÓN.

1.- Asfixia – intoxicación:

1º Colóquese el equipo de respiración autónomo que tiene previsto para la realización del trabajo y que tiene en el exterior.

2º Entre a retirar al compañero presuntamente asfixiado, o sáquelo tirando a través de la cuerda que tiene atada al arnés de seguridad que lleva colocado.

3º Sumínístrele aire fresco desde el equipo de respiración.

4º Avisar inmediatamente al teléfono de la Sala de Control.

5º La persona que recibe la llamada localizará al Jefe de Turno para notificarle la situación y el lugar donde se ha producido el accidente para que active su traslado al Botiquín.

2.- Traumatismo (no columna):

1º Entre a retirar al compañero o sáquelo tirando a través de la cuerda que tiene atada al arnés de seguridad que lleva colocado.

2º Sumínístrele aire fresco desde el equipo de respiración si considera que está marcado a causa del traumatismo.

3º Avisar inmediatamente al teléfono de la Sala de Control.

4º La persona que recibe la llamada localizará al Jefe de Turno para notificarle la situación y el lugar donde se ha producido el accidente para que active su traslado al Botiquín.

3.- Traumatismo de columna vertebral: Caso de sospecharse que existe fractura de columna vertebral (hormigueo, falta de sensibilidad o capacidad de movimiento en las piernas):

1º Colocar una superficie rígida, a modo de camilla, debajo del accidentado.

2º Trasladar al accidentado lo más horizontal posible, evitando movimientos bruscos.

3º Siempre que sea posible asegurar la posición del accidentado con correas.

4.- Electrocución: Si el accidentado aún está en contacto con los conductos eléctricos:

1º Desconectar la corriente actuando sobre los interruptores de las fuentes de alimentación eléctrica.

2º Verificar la ausencia de tensión.

3º Entre a retirar al compañero o sáquelo tirando a través de la cuerda que tiene atada al arnés de seguridad que lleva colocado.

4º Apagar el incendio de las ropas si están encendidas.

5º Si ha perdido la respiración y el ritmo cardiaco, aplicar aire a través del equipo de respiración autónoma y masaje cardiaco si es necesario.

6º Antes del traslado, suministrarle agua con sales.

7º Avisar inmediatamente al teléfono de la Sala de Control.

8º La persona que recibe la llamada localizará al Jefe de Turno para notificarle la situación y el lugar donde se ha producido el accidente para que active su traslado al Botiquín.

5.- Hipertermia:

1º Colóquese el equipo de respiración autónomo que tiene previsto para la realización del trabajo y que tiene en el exterior.

2º Entre a retirar al compañero presuntamente asfixiado, o sáquelo tirando a través de la cuerda que tiene atada al arnés de seguridad que lleva colocado.

3º Suminístrele aire fresco desde el equipo de respiración.

4º Suminístrele agua con sales.

5º Si tiene a su alcance agua en cantidad mójelo suave y continuadamente para hidratarlo.

6º Avisar inmediatamente al teléfono de la Sala de Control.

7º La persona que recibe la llamada localizará al Jefe de Turno para notificarle la situación y el lugar donde se ha producido el accidente para que active su traslado al Botiquín.

8.5.- INSPECCIONES A AREAS, EQUIPOS Y PARTES CRÍTICAS:

Este tipo de inspecciones se realizan sobre un departamento o sección, instalación, máquina, puesto de trabajo o riesgo en concreto, sin afectar al resto de las instalaciones. Las inspecciones de partes críticas, son un ejemplo de este tipo de inspecciones.

Se definen partes críticas como aquellos componentes de las maquinarias, equipos, materiales, que ofrecen mayores probabilidades de originar un problema o pérdida de magnitud cuando se gastan, se dañan, se abusa de ellos, se maltratan o se usan de forma inadecuada.

Estas inspecciones requieren la definición de las partes críticas por lo que hay que realizar un inventario de las mismas.

8.5.1.- Instructivo para realizar inspecciones pre-operacionales a equipos, maquinaria y herramientas:

1.- OBJETIVO:

Establecer los parámetros y criterios para realizar inspecciones pre-operacionales a maquinaria, equipo y herramientas menores, para desarrollar las distintas actividades, así mismo se busca establecer canales de comunicación claros en caso de encontrar anomalías o defectos en los equipos y/o herramientas inspeccionadas. Identificar los problemas potenciales y deficiencias de los equipos, maquinaria y herramientas utilizadas.

2.- ALCANCE:

El presente documento es aplicable a todas las áreas operativas.

3.- DEFINICIONES:

- **INSPECCIÓN:** Revisión de todos los componentes de una máquina, equipo o herramienta, para verificar su estado y condiciones de operación.
- **INSPECCIONES DE PARTES CRÍTICAS:** Revisión de aquellos componentes de máquinas, materiales, estructuras o áreas que posean un riesgo potencial elevado de pérdidas cuando se desgastan, dañan o usan inadecuadamente.
- **CONDICIONES SUBESTANDAR:** Toda circunstancia física que presente una desviación de lo estándar o establecido y que facilite la ocurrencia de un accidente.
- **PREOPERACIONAL:** Formato para registrar las condiciones en que se encuentra una máquina, equipo y/o herramienta antes de iniciar cualquier actividad.
- **ACCIDENTE DE TRABAJO:** Es accidente de trabajo todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. Es también Accidente de Trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador, o durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, aun fuera del lugar y horas de trabajo.
- **CASIACCIDENTE:** Evento que da lugar a un accidente o que tiene el potencial para producir un accidente (Un incidente en que no ocurre ninguna lesión, enfermedad, daño, u otra pérdida es denominado también "cuasi -pérdida". El término "incidente" incluye las "cuasi -pérdidas".

**CUADRO 3
INSPECCION DE LOS EQUIPOS**

INSPECCION DE LOS EQUIPOS																							
MES:			LUNES			MARTES			MIERCOLES			JUEVES			VIERNES			SABADO			DOMINGO		
			B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A
ASPECTOS GENERALES A INSPECCIONAR																							
NIVEL DE COMBUSTIBLE	Alto																						
	Medio																						
	Bajo																						
LIMPIEZA GENERAL DE LOS EQUIPOS																							
ESTADO DE LAS CONEXIONES ELECTRICAS	Normal																						
	Sueltas																						
	Desgastadas																						
	Rotas																						
ESTADO DE LAS GUARDAS DE SEGURIDAD	Posee																						
	Sueltas																						
	Averiadas																						
	No posee																						
ESTADO DE INTERRUPTORES DE ON-OFF	Posee																						
	Sueltas																						
	Averiadas																						
	No posee																						

[illegible]

[illegible]

HORNO DEL CLINKER		B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A
NIVEL DEL COMBUSTIBLE DEL EQUIPO	Alto																		
	Medio																		
	Bajo																		
ESTADO DE LAS CONEXIONES DEL EQUIPO	Adecuados																		
	Partidos																		
	Deteriorados																		
	Oxidados																		
ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DEL TERMOPAR																			
ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DEL BAROMETRO																			
HORNO DE LA CASCARA DE ARROZ		B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A	B	M	N/A
NIVEL DEL COMBUSTIBLE DEL EQUIPO	Alto																		
	Medio																		
	Bajo																		
ESTADO DE LAS CONEXIONES DEL EQUIPO	Adecuados																		
	Partidos																		
	Deteriorados																		
	Oxidados																		
ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DEL TERMOPAR																			
ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DEL BAROMETRO																			

* Fuente: Autor

CAPITULO IX
CONTROL DE CONTAMINANTES

9.1.- ASPECTOS AMBIENTALES:

9.1.1.- D.S. 074-2001-PCM: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire:

Que, el Artículo 2º inciso 22) de la Constitución Política del Perú establece que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el Artículo 67º de la Constitución Política del Perú señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales;

Que la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece la responsabilidad del Estado de promover el aprovechamiento sostenible de la atmósfera y su manejo racional, teniendo en cuenta su capacidad de renovación;

9.1.2.- D.S. 085-2003-PCM: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido:

Que, el Artículo 2 inciso 22) de la Constitución Política del Perú establece que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; constituyendo un derecho humano fundamental y exigible de conformidad con los compromisos internacionales suscritos por el Estado;

Que, el Artículo 67 de la Constitución Política del Perú señala que el Estado determina la política nacional del ambiente;

Que, los estándares de calidad ambiental del ruido son un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de la contaminación sonora sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible;

Que, de conformidad con el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, Decreto Supremo N° 044-98-PCM, se aprobó el Programa Anual 1999, para estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles, conformándose el Grupo de Estudio Técnico Ambiental “Estándares de Calidad del Ruido” - GESTA RUIDO, con la participación de 18 instituciones públicas y privadas que han cumplido con proponer los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido bajo la coordinación de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud;

9.1.3.- D.S.002-2008-MINAM: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

9.1.4.- R.M.011-96-EM/VMM: Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos para las actividades minero – metalúrgicos:

Que, el artículo 226° del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014 -92-EM, establece que la autoridad competente para la aplicación de las disposiciones contenidas en el Decreto Legislativo N° 613 - Código del Medio Ambiente referidas a la actividad minera y energética, es el Sector Energía y Minas;

Que, los Estudios de Impacto Ambiental correspondientes a la actividad minero-metalúrgica deben estar formulados en base a los Niveles Máximos Permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe;

Que, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental tienen como objetivo que los titulares de la actividad minero-metalúrgica logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los Niveles Máximos Permisibles;

9.1.5.- R.M.315-96-EM/VMM: Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las Unidades Minero – Metalúrgicas:

Que, el artículo 226° del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM, establece que la autoridad competente para la aplicación de las disposiciones contenidas en el Decreto Legislativo N° 613 - Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales referidos a la actividad minera y energética, es el Sector Energía y Minas;

Que, los Estudios de Impacto Ambiental correspondientes a la actividad minero - metalúrgica deben estar formulados en base a los Niveles Máximos Permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe;

Que, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental tienen como objetivo que los titulares de la actividad minero - metalúrgica logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los Niveles Máximos Permisibles;

9.1.6.- D.S.003-2002-PRODUCE: Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para Actividades Industriales de Cemento, Cerveza, Curtiembre, y Papel:

Que, el Código del Medio, Ambiente y los Recursos Naturales, establece en el Artículo I de su Título Preliminar, que es obligación de todos la conservación del ambiente y, en particular del Estado, la prevención y control de la contaminación ambiental;

Que, de acuerdo con el artículo 50 del Decreto Legislativo N° 757, “Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada”, las Autoridades Sectoriales Competentes para conocer sobre los asuntos relacionados con la aplicación de las disposiciones del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, son los Ministerios de los sectores correspondientes a las actividades que desarrollan las empresas;

9.1.7.- Ley 27314: Ley General de Resíduos Sólidos:

La presente Ley establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

9.1.8.- D.S.057-2004-PCM: Reglamento de la Ley General de Resíduos Sólidos:

Que, la Segunda Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la referida Ley estableció que la Presidencia del Consejo de Ministros aprobará el Reglamento de Resíduos Sólidos, así como de los procedimientos técnicos administrativos e instrumentos de aplicación, con la opinión favorable previa de los Ministros de Salud,

Agricultura, Defensa, Transportes y Comunicaciones, Producción y Vivienda, Construcción y Saneamiento;

Que, ha sido elevado a la Presidencia del Consejo de Ministros, el proyecto de Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos;

De conformidad con lo dispuesto en el inciso 8) del artículo 118 de la Constitución Política y la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos;

9.2.- RESIDUOS DE CONTAMINACION DEACUERDO AL PROCESO:

9.2.1.- Acondicionamiento del agua residual proveniente del sistema de filtración:

9.2.1.1.- Tratamiento primario:

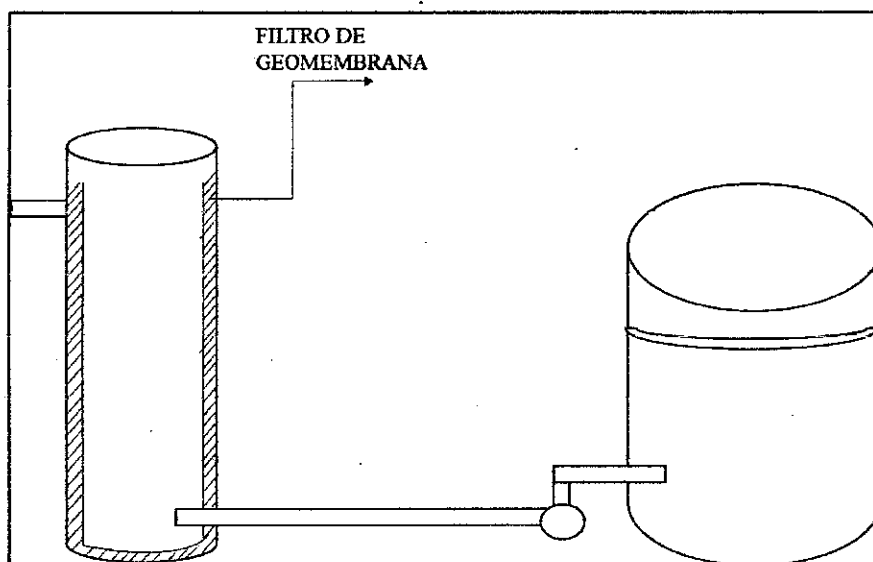
A) Separación de sólidos y líquidos: Para tratar los lodos residuales; se realiza una decantación, al sólo efecto de eliminar arena, limo, arcilla u otras; esta decantación eventualmente va precedida de aireación y/u oxigenación, con la finalidad de separar elementos inestables tales como compuestos de hierro y/o azufre.

El proceso de aireación lo que hace es separar el azufre y el hierro del agua físicamente.

B) Floculación – Coagulación: Después de la decantación con aireación, se pasa a agregar alumbre al agua, produciendo así la precipitación del flúor; el tipo de alumbre que se utiliza es $(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O)$.

Luego se le agrega cloro con la finalidad establecer el pH del agua, y eliminar en lo posible los rastros de azufre y hierro.

FIGURA 57
ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA PROVENIENTE DEL FILTRO
PRENSA



9.2.1.2.- Acondicionamiento de gases residuales provenientes del horneado: Una de las opciones para el eliminar el CO_2 es eliminándolo con silicato cálcico hidratado ($CaO.SiO_2.H_2O$), lo que hace es reaccionar con el dióxido de carbono provocando la formación de un subproducto: carbonato de calcio y oxido de sílice, siendo estas materias primas para la elaboración de cemento.

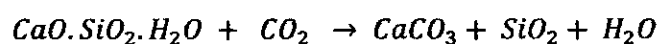
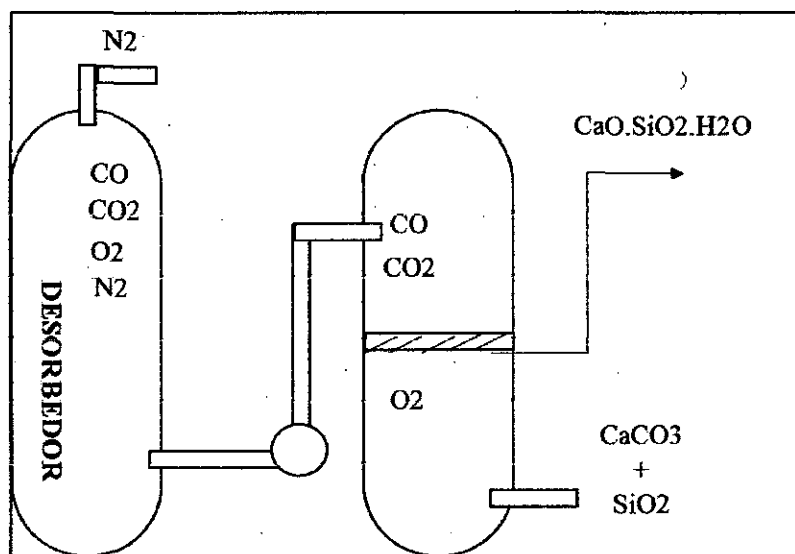


FIGURA 58
ACONDICIONAMIENTO DE LOS GASES SALIENTES DEL HORNO



CAPITULO X

INFRAESTRUCTURA Y PLANIFICACION INDUSTRIAL

10.1.- ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL PLANEAMIENTO DEL DISEÑO DE LA PLANTA:

En la preparación de un Plan de Empresa se considera tres etapas de desarrollo que se diferencian por la calidad de la información, estas son: la etapa de perfil, la etapa de prefactibilidad, puesta en marcha para la etapa de factibilidad

ETAPA DE PERFIL, en esta etapa se desarrolla el plan de empresa con el conocimiento e información del equipo de trabajo. Se utiliza fuentes de información como la entrevista, consultas en internet, directorios telefónicos, entre otros. El método de estudio es la observación.

ETAPA DE PREFACTIBILIDAD, en esta etapa se desarrolla el plan de empresa con información secundaria. Se utilizan fuentes de información, como bases de datos de cámaras de comercio, centros de documentación especializada, Dane, Proexport, Banco de la república, gremios o asociaciones empresariales, Industriales, servicios, agropecuarios y de comercio. La metodología a utilizar es la anteriormente descrita.

ETAPA DE FACTIBILIDAD, es esta etapa se desarrolla el plan de empresa con la información que genera el proyecto en la ejecución de su actividad económica, se utilizan fuentes de información primaria, tales como: ventas, costos de insumos, inversión en maquinaria y equipo, honorarios, salarios, prestaciones sociales, impuestos. La metodología a utilizar es la construcción de bases de datos, encuestas, y sondeos de opinión.

10.2.- ASPECTOS LEGALES:

10.2.1.- Ley 26512: Saneamiento legal de los inmuebles de propiedad de los Sectores Educación y Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción:

Artículo 1°.- Declárese de necesidad y utilidad pública el saneamiento legal de los bienes inmuebles de propiedad del Sector Educación y del Sector Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

Artículo 2°.- Autorízase a los Ministerios de Educación y de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción para que procedan al saneamiento legal de los bienes inmuebles de propiedad del Estado asignados a dichos Ministerios y demás inmuebles de ambos sectores, adquiridos, donados, construidos, ampliados y/o rehabilitados por instituciones públicas y/o privadas, de acuerdo a lo dispuesto por la presente Ley.

10.2.2.- Ley 27493: Amplían alcances de Reglamento del Saneamiento Técnico, Legal y Contable de los inmuebles de propiedad de las entidades públicas a todos los organismos e instituciones:

Que, mediante Decreto de Urgencia N° 071-2001 se declaró de interés nacional el saneamiento técnico, legal y contable de los inmuebles de propiedad de las entidades públicas;

Que, mediante Ley N° 27493, se declara extensiva la Ley N° 26512, Ley de Saneamiento de los Inmuebles del Sector Educación y Sector Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción a todos los organismos e instituciones del sector público;

Que, mediante Decreto Supremo N° 130-2001/EF se aprobó el Reglamento a que se refiere el Artículo 5 del Decreto de Urgencia N° 071-2001 relativo al saneamiento técnico, legal y contable de los inmuebles de propiedad de las entidades públicas;

Que, es necesario que el citado Reglamento sea de aplicación para todas las entidades públicas en general, uniformizando así los criterios reglamentarios;

10.2.3.- Decreto de Urgencia 071-2001: Interés Nacional de saneamiento técnico, legal y contable de los inmuebles de propiedad de las entidades públicas:

Artículo 1°.- Objeto de la norma.- La Superintendencia de Bienes Nacionales (SBN) tendrá la autonomía económica, presupuestal, financiera, técnica y funcional necesaria

para la ejecución de los actos de adquisición, disposición, administración y control de los bienes de propiedad estatal cuya administración está a su cargo, de conformidad con las disposiciones legales vigentes y con las establecidas en el presente Decreto de Urgencia respetando la competencia sobre bienes de propiedad municipal y aquellos que sean materia de procesos de formalización.

Artículo 2°.- Recursos para el Tesoro Público.- Del producto de la venta de los bienes de propiedad estatal a cargo de la administración de la Superintendencia de Bienes Nacionales (SBN) le corresponderá el 3% a esta entidad y el 97% restante será destinado Tesoro Público.

10.2.4.- D.S. 130-2001-EF: Dictan medidas reglamentarias para que cualquier entidad pública pueda realizar acciones de saneamiento técnico, legal y contable de inmuebles de propiedad estatal:

Que, mediante el Decreto de Urgencia N° 071-2001 se estableció la autonomía económica, presupuestal, financiera, técnica y funcional necesaria para la ejecución de los actos de adquisición, disposición, administración y control de los bienes de propiedad estatal a su cargo; y, se declaró de interés nacional el saneamiento técnico, legal y contable de los inmuebles de propiedad de las entidades públicas en general;

Que, el mencionado Decreto de Urgencia estableció que el mismo sería reglamentado por Decreto Supremo refrendado por el Ministro de Economía y Finanzas en un plazo no mayor de 45 días calendario a partir de su publicación;

Que, en consecuencia, es necesario dictar las medidas reglamentarias para que cualquier entidad pública, sin discriminación alguna, pueda realizar acciones de saneamiento técnico, legal y contable de los inmuebles de propiedad estatal por su propia cuenta;

10.2.5.- NTP G.050: Seguridad durante la construcción:

1.1 OBJETO:

La presente Norma especifica las consideraciones mínimas indispensables de seguridad a tener en cuenta en las actividades de construcción civil. Asimismo, en los trabajos de montaje y desmontaje, incluido cualquier proceso de demolición, refacción o remodelación.

1.2 CAMPO DE APLICACIÓN:

La presente Norma se aplica a todas las actividades de construcción, es decir, a los trabajos de edificación, obras de uso público, trabajo de montaje y desmontaje y cualquier proceso de operación o transporte en las obras, desde su preparación hasta la conclusión del proyecto; en general a toda actividad definida en el Gran Grupo 2, Gran Grupo 3, Gran Grupo 7, Gran Grupo 8 y Gran Grupo 9 señaladas en la CLASIFICACION INTERNACIONAL UNIFORME DE OCUPACIONES -CIUO- 1988.

La presente Norma se aplica a todo el ámbito de la construcción, en concordancia con la Resolución Suprema N°021 - 83 TR del 23 de marzo de 1983.

10.2.6.- NTP 370.305:2003: Instalaciones eléctricas en edificios: Protección para garantizar la seguridad:

La presente Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Seguridad Eléctrica – Subcomité de Instalaciones Eléctricas Interiores, mediante el Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de junio del 2000 a febrero del 2003, utilizando como antecedente a los que se indican en el capítulo correspondiente.

El Comité Técnico de Normalización de Seguridad Eléctrica presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – CRT, con fecha 2003-02-06, el PNTP 370.305:2003 para su revisión y aprobación; siendo sometido a la etapa de Discusión

Publica el 2003-04-02. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana NTP 370.305:2003 INSTALACIONES ELECTRICAS EN EDIFICIOS. Protección para garantizar la seguridad. Protección contra los efectos térmicos, 1ª Edición, el 18 de junio del 2003.

Esta Norma Técnica Peruana ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

10.3.- ASPECTOS AMBIENTALES.

Durante la construcción, rehabilitación, mejoramiento, y funcionamiento de una infraestructura, se presentan impactos ambientales sobre los diferentes componentes del entorno, que requieren un manejo adecuado y planificación previa a su ejecución, a fin de mitigar o evitar las posibles consecuencias negativas del proyecto sobre el medio físico, biótico, socioeconómico y cultural del área de implementación del mismo. Por ello, antes de ejecutar el proyecto de una construcción, se debe contar con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobado.

Los Estudios de Impacto Ambiental son instrumentos de gestión, de carácter preventivo. Dichos estudios, establecen como punto de partida, la Línea de Base Socio Ambiental que permite describir las características que presenta el área de influencia del proyecto. Esta área, que es delimitada, describe el ambiente en donde se realizará el proyecto, es decir su entorno y contempla los aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos más relevantes, comprende además todas las zonas susceptibles de recibir los impactos positivos o negativos del proyecto. La Línea de Base y las características del proyecto a realizarse permiten identificar los impactos positivos y negativos de la obra que se ejecutará. Dichos impactos son evaluados y categorizados como parte del EIA.

El objetivo principal de realizar estos Estudios de Impacto Ambiental, es presentar las soluciones concretas para evitar y/o mitigar los impactos ambientales negativos, así como potenciar los impactos positivos, a través de la propuesta de un Plan de Manejo Ambiental, incluyendo el abandono y restablecimiento de las áreas afectadas.

Este Plan de Manejo Ambiental debe incluir también, medidas de respuesta de emergencia para eventos accidentales, así como estimarse los costos de las medidas de prevención o mitigación (estabilidad de taludes, calidad y flujo de aguas superficiales y subterráneas, remoción de suelos y la vegetación, emisiones, alteración de acuíferos, integridad natural de áreas protegidas y/o comunales, fauna silvestre, uso del suelo, etc.). Así mismo, debe considerar las medidas de compensación para las partes afectadas por los impactos que no pueden ser evitados, y las acciones de seguimiento que permitan evaluar las medidas a adoptarse para determinar su efectividad en el tiempo.

Con el fin de garantizar la calidad del Estudio de Impacto Ambiental y dentro del componente social de dichos estudios, se considera la Participación Ciudadana como elemento importante de los mismos. Es así que los proyectos son presentados a los ciudadanos directamente involucrados y los Estudios de Impacto Ambiental se desarrollan tomando en cuenta las opiniones de los mismos.

10.3.1.- La evaluación de impacto ambiental de una infraestructura en el Perú:

El Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, es el sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.

La Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, en el art. 2, dice” quedan comprendidos en el ámbito de aplicación de la presente Ley, los proyectos de inversión públicos y privados que impliquen actividades, construcciones u obras que puedan causar impactos ambientales negativos, según disponga el Reglamento de la presente Ley”.

Según el SEIA, los proyectos se clasifican en tres categorías de acuerdo a sus impactos ambientales y sociales:

- Categoría I : Declaración de Impacto Ambiental Detallado
- Categoría II : Estudio de Impacto Ambiental Semi detallado
- Categoría III: Estudio de Impacto Ambiental Detallado

La autoridad ambiental del Subsector Transportes es la Dirección General de Asuntos Socio Ambientales (DGASA) de acuerdo a lo dispuesto por el Reglamento de Organización y Funciones (ROF), D.S. N° 021-2007-MTC, que define que dicha Dirección, es el órgano de línea de ámbito nacional, que ejerce la autoridad ambiental sectorial y se encarga de velar por el cumplimiento de las normas socio-ambientales con el fin de asegurar la viabilidad socio ambiental de los proyectos de infraestructura y servicios de transportes.

Tiene entre sus funciones la formulación de políticas, y normas socio-ambientales, proponiendo además programas y planes de manejo socio-ambiental para el subsector Transporte.

10.3.2.- Normas aplicables para efectos de evaluación de estudios de impacto ambiental:

- Constitución Política del Perú
- Código Civil
- Código Penal
- Ley General del Ambiente Ley N° 28611
- Ley General de Aguas D.S. N° 17752
- Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada D.Leg. N° 757
- Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impactos Ambiental, Ley 27446
- Ley Marco del Sistema Nacional de gestión Ambiental, Ley N° 28246 y su Reglamento, D.S. N° 008-2005-PCM.
- Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades, Ley 26786
- Ley General de Arbitraje, Ley N° 26572
- Ley General de Expropiaciones, Ley 27117

- Reglamento de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, D.S. N° 014-2001- AG
- Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, Ley 26821
- Ley sobre la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica, Ley 26839
- Normas para el aprovechamiento de Canteras, D.S. N°037-96-EM
- Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación, Ley N° 28296
- Reglamento de la Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación D.S. N° 011-2006-ED
- Ley de Comunidades Campesinas, Ley N° 24656
- Texto Único Ordenado (TUO) de las normas con rango de ley que regulan la entrega en concesión al sector privado de las obras públicas de infraestructura y servicios públicos, D.S. N° 059-96-PCM (27/12/96); fe de erratas del 31/12/96 y modificada por D.S. N° 054-97-PCM y Ley N°27156
- Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314
- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, D.S. N° 057-2004- PCM
- Ley que regula el derecho por extracción de materiales de los álveos o cauces de los ríos por las Municipalidades, Ley N° 28221
- Ley que regula el transporte terrestre de materiales y Residuos Peligrosos, Ley N° 28256
- Aprueban Reglamento para la Inscripción en el Registro de Entidades Autorizadas para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental en el Subsector Transportes del Ministerio RD 063-2007-MTC/16.
- Reglamento de consulta y participación ciudadana en el proceso de evaluación ambiental y social en el subsector transportes RD 006-2004-MTC/16
- Directrices para la elaboración y aplicación de planes de compensación y reasentamiento involuntario para proyectos de infraestructura de transporte RD 007-2004-MTC/16
- Aprueban Lineamientos para elaborar Estudios de Impacto Ambiental en Proyecto Portuarios a nivel de estudio definitivo RD 012-2007-MTC/16

- Aprueban Lineamientos para elaborar un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental en Proyectos Portuarios 08.03.07 Anexo RD 013-2007-MTC/16
- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Para Ruido, D.S. N°085-2003-PCM

CONCLUSIONES:

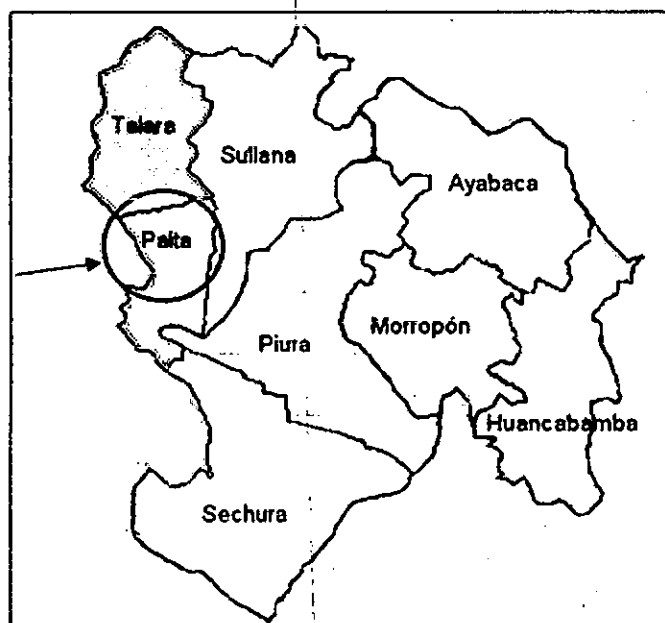
- Se realizó el estudio de mercado dando una producción estimada del cemento de hidráulico de 23297 Tn/año y como localización primaria y secundaria según el método de factores de balanceo; la ciudad de Piura, provincia de Paíta.
- Se desarrolló de forma detallada el balance de materia y energía tanto del cemento Portland como de la cáscara de arroz.
- Se diseñó de forma específica los equipos principales como son: la trituradora de mandíbula, molino de bolas, horno rotatorio con sistema de pre-calcinación de 4 ciclones, horno para calcinar la cáscara de arroz; equipos secundarios como son: el filtro prensa y la bomba hidráulica.
- Se realizó el análisis financiero de acuerdo al proyecto, y se determinó los puntos siguientes: punto de equilibrio, VAN, TIR.
- Se evaluó el control de calidad, control de contaminantes, seguridad industrial y salud ocupacional; dando las normas técnicas peruanas, leyes peruanas que se deben respetar para garantizar un buen control de calidad del producto, un buen manejo de contaminantes y brindar a los trabajadores y personal externo la seguridad que se requiere.

RECOMENDACIONES:

- Para realizar un estudio de mercado más exacto se debe de tener en cuenta cuales son los productos competitivos y la cantidad en que se producen para obtener una producción anual más exacta.
- Para que el método de factor de balanceo arroje el resultado esperado se debe considerar los factores principales de localización.
- En el desarrollo del diseño de los equipos, este puede variar según la producción anual, y ver la conveniencia de la utilización de los equipos descritos en este proyecto.

ANEXOS

ANEXO I FACTOR PRIMARIO Y FACTOR SECUNDARIO



ANEXO 2 ENTALPIAS DE FORMACION

Clasificación	Formula	Masa molecular	q _{lib}	T _{fusion} °C	ΔH _f °C	T _{comb} °C	ΔH _c °C	ΔH _f °C	ΔH _c °C
hidruros	CH ₄	16.04	0.00	-162.0	0.00	1253	-80.3	-74.8	-80.3
hidruros	C ₂ H ₆	30.07	0.00	-183.0	0.00	1490	-84.7	-84.7	-84.7
hidruros	C ₃ H ₈	44.10	0.00	-190.0	0.00	1690	-103.8	-103.8	-103.8
hidruros	C ₄ H ₁₀	58.12	0.00	-138.0	0.00	1860	-126.1	-126.1	-126.1
hidruros	C ₅ H ₁₂	72.15	0.00	-119.0	0.00	2070	-146.8	-146.8	-146.8
hidruros	C ₆ H ₁₄	86.17	0.00	-95.0	0.00	2290	-169.1	-169.1	-169.1
hidruros	C ₇ H ₁₆	100.20	0.00	-77.0	0.00	2520	-193.1	-193.1	-193.1
hidruros	C ₈ H ₁₈	114.23	0.00	-59.0	0.00	2760	-218.1	-218.1	-218.1
hidruros	C ₉ H ₂₀	128.26	0.00	-41.0	0.00	3010	-244.1	-244.1	-244.1
hidruros	C ₁₀ H ₂₂	142.29	0.00	-23.0	0.00	3270	-271.1	-271.1	-271.1
hidruros	C ₁₁ H ₂₄	156.32	0.00	-5.0	0.00	3540	-299.1	-299.1	-299.1
hidruros	C ₁₂ H ₂₆	170.35	0.00	13.0	0.00	3820	-328.1	-328.1	-328.1
hidruros	C ₁₃ H ₂₈	184.38	0.00	31.0	0.00	4110	-358.1	-358.1	-358.1
hidruros	C ₁₄ H ₃₀	198.41	0.00	49.0	0.00	4410	-389.1	-389.1	-389.1
hidruros	C ₁₅ H ₃₂	212.44	0.00	67.0	0.00	4720	-420.1	-420.1	-420.1
hidruros	C ₁₆ H ₃₄	226.47	0.00	85.0	0.00	5040	-452.1	-452.1	-452.1
hidruros	C ₁₇ H ₃₆	240.50	0.00	103.0	0.00	5370	-484.1	-484.1	-484.1
hidruros	C ₁₈ H ₃₈	254.53	0.00	121.0	0.00	5710	-517.1	-517.1	-517.1
hidruros	C ₁₉ H ₄₀	268.56	0.00	139.0	0.00	6060	-551.1	-551.1	-551.1
hidruros	C ₂₀ H ₄₂	282.59	0.00	157.0	0.00	6420	-585.1	-585.1	-585.1
hidruros	C ₂₁ H ₄₄	296.62	0.00	175.0	0.00	6790	-620.1	-620.1	-620.1
hidruros	C ₂₂ H ₄₆	310.65	0.00	193.0	0.00	7170	-655.1	-655.1	-655.1
hidruros	C ₂₃ H ₄₈	324.68	0.00	211.0	0.00	7560	-691.1	-691.1	-691.1
hidruros	C ₂₄ H ₅₀	338.71	0.00	229.0	0.00	7960	-727.1	-727.1	-727.1
hidruros	C ₂₅ H ₅₂	352.74	0.00	247.0	0.00	8370	-764.1	-764.1	-764.1
hidruros	C ₂₆ H ₅₄	366.77	0.00	265.0	0.00	8790	-801.1	-801.1	-801.1
hidruros	C ₂₇ H ₅₆	380.80	0.00	283.0	0.00	9220	-839.1	-839.1	-839.1
hidruros	C ₂₈ H ₅₈	394.83	0.00	301.0	0.00	9660	-877.1	-877.1	-877.1
hidruros	C ₂₉ H ₆₀	408.86	0.00	319.0	0.00	10110	-916.1	-916.1	-916.1
hidruros	C ₃₀ H ₆₂	422.89	0.00	337.0	0.00	10570	-955.1	-955.1	-955.1
hidruros	C ₃₁ H ₆₄	436.92	0.00	355.0	0.00	11040	-995.1	-995.1	-995.1
hidruros	C ₃₂ H ₆₆	450.95	0.00	373.0	0.00	11520	-1035.1	-1035.1	-1035.1
hidruros	C ₃₃ H ₆₈	464.98	0.00	391.0	0.00	12010	-1076.1	-1076.1	-1076.1
hidruros	C ₃₄ H ₇₀	479.01	0.00	409.0	0.00	12510	-1117.1	-1117.1	-1117.1
hidruros	C ₃₅ H ₇₂	493.04	0.00	427.0	0.00	13020	-1158.1	-1158.1	-1158.1
hidruros	C ₃₆ H ₇₄	507.07	0.00	445.0	0.00	13540	-1199.1	-1199.1	-1199.1
hidruros	C ₃₇ H ₇₆	521.10	0.00	463.0	0.00	14070	-1240.1	-1240.1	-1240.1
hidruros	C ₃₈ H ₇₈	535.13	0.00	481.0	0.00	14610	-1281.1	-1281.1	-1281.1
hidruros	C ₃₉ H ₈₀	549.16	0.00	499.0	0.00	15160	-1322.1	-1322.1	-1322.1
hidruros	C ₄₀ H ₈₂	563.19	0.00	517.0	0.00	15720	-1363.1	-1363.1	-1363.1
hidruros	C ₄₁ H ₈₄	577.22	0.00	535.0	0.00	16290	-1404.1	-1404.1	-1404.1
hidruros	C ₄₂ H ₈₆	591.25	0.00	553.0	0.00	16870	-1445.1	-1445.1	-1445.1
hidruros	C ₄₃ H ₈₈	605.28	0.00	571.0	0.00	17460	-1486.1	-1486.1	-1486.1
hidruros	C ₄₄ H ₉₀	619.31	0.00	589.0	0.00	18060	-1527.1	-1527.1	-1527.1
hidruros	C ₄₅ H ₉₂	633.34	0.00	607.0	0.00	18670	-1568.1	-1568.1	-1568.1
hidruros	C ₄₆ H ₉₄	647.37	0.00	625.0	0.00	19290	-1609.1	-1609.1	-1609.1
hidruros	C ₄₇ H ₉₆	661.40	0.00	643.0	0.00	19920	-1650.1	-1650.1	-1650.1
hidruros	C ₄₈ H ₉₈	675.43	0.00	661.0	0.00	20560	-1691.1	-1691.1	-1691.1
hidruros	C ₄₉ H ₁₀₀	689.46	0.00	679.0	0.00	21210	-1732.1	-1732.1	-1732.1
hidruros	C ₅₀ H ₁₀₂	703.49	0.00	697.0	0.00	21870	-1773.1	-1773.1	-1773.1
hidruros	C ₅₁ H ₁₀₄	717.52	0.00	715.0	0.00	22540	-1814.1	-1814.1	-1814.1
hidruros	C ₅₂ H ₁₀₆	731.55	0.00	733.0	0.00	23220	-1855.1	-1855.1	-1855.1
hidruros	C ₅₃ H ₁₀₈	745.58	0.00	751.0	0.00	23910	-1896.1	-1896.1	-1896.1
hidruros	C ₅₄ H ₁₁₀	759.61	0.00	769.0	0.00	24610	-1937.1	-1937.1	-1937.1
hidruros	C ₅₅ H ₁₁₂	773.64	0.00	787.0	0.00	25320	-1978.1	-1978.1	-1978.1
hidruros	C ₅₆ H ₁₁₄	787.67	0.00	805.0	0.00	26040	-2019.1	-2019.1	-2019.1
hidruros	C ₅₇ H ₁₁₆	801.70	0.00	823.0	0.00	26770	-2060.1	-2060.1	-2060.1
hidruros	C ₅₈ H ₁₁₈	815.73	0.00	841.0	0.00	27510	-2101.1	-2101.1	-2101.1
hidruros	C ₅₉ H ₁₂₀	829.76	0.00	859.0	0.00	28260	-2142.1	-2142.1	-2142.1
hidruros	C ₆₀ H ₁₂₂	843.79	0.00	877.0	0.00	29020	-2183.1	-2183.1	-2183.1
hidruros	C ₆₁ H ₁₂₄	857.82	0.00	895.0	0.00	29790	-2224.1	-2224.1	-2224.1
hidruros	C ₆₂ H ₁₂₆	871.85	0.00	913.0	0.00	30570	-2265.1	-2265.1	-2265.1
hidruros	C ₆₃ H ₁₂₈	885.88	0.00	931.0	0.00	31360	-2306.1	-2306.1	-2306.1
hidruros	C ₆₄ H ₁₃₀	899.91	0.00	949.0	0.00	32160	-2347.1	-2347.1	-2347.1
hidruros	C ₆₅ H ₁₃₂	913.94	0.00	967.0	0.00	32970	-2388.1	-2388.1	-2388.1
hidruros	C ₆₆ H ₁₃₄	927.97	0.00	985.0	0.00	33790	-2429.1	-2429.1	-2429.1
hidruros	C ₆₇ H ₁₃₆	941.99	0.00	1003.0	0.00	34620	-2470.1	-2470.1	-2470.1
hidruros	C ₆₈ H ₁₃₈	956.02	0.00	1021.0	0.00	35460	-2511.1	-2511.1	-2511.1
hidruros	C ₆₉ H ₁₄₀	970.05	0.00	1039.0	0.00	36310	-2552.1	-2552.1	-2552.1
hidruros	C ₇₀ H ₁₄₂	984.08	0.00	1057.0	0.00	37170	-2593.1	-2593.1	-2593.1
hidruros	C ₇₁ H ₁₄₄	998.11	0.00	1075.0	0.00	38040	-2634.1	-2634.1	-2634.1
hidruros	C ₇₂ H ₁₄₆	1012.14	0.00	1093.0	0.00	38920	-2675.1	-2675.1	-2675.1
hidruros	C ₇₃ H ₁₄₈	1026.17	0.00	1111.0	0.00	39810	-2716.1	-2716.1	-2716.1
hidruros	C ₇₄ H ₁₅₀	1040.20	0.00	1129.0	0.00	40710	-2757.1	-2757.1	-2757.1
hidruros	C ₇₅ H ₁₅₂	1054.23	0.00	1147.0	0.00	41620	-2798.1	-2798.1	-2798.1
hidruros	C ₇₆ H ₁₅₄	1068.26	0.00	1165.0	0.00	42540	-2839.1	-2839.1	-2839.1
hidruros	C ₇₇ H ₁₅₆	1082.29	0.00	1183.0	0.00	43470	-2880.1	-2880.1	-2880.1
hidruros	C ₇₈ H ₁₅₈	1096.32	0.00	1201.0	0.00	44410	-2921.1	-2921.1	-2921.1
hidruros	C ₇₉ H ₁₆₀	1110.35	0.00	1219.0	0.00	45360	-2962.1	-2962.1	-2962.1
hidruros	C ₈₀ H ₁₆₂	1124.38	0.00	1237.0	0.00	46320	-3003.1	-3003.1	-3003.1
hidruros	C ₈₁ H ₁₆₄	1138.41	0.00	1255.0	0.00	47290	-3044.1	-3044.1	-3044.1
hidruros	C ₈₂ H ₁₆₆	1152.44	0.00	1273.0	0.00	48270	-3085.1	-3085.1	-3085.1
hidruros	C ₈₃ H ₁₆₈	1166.47	0.00	1291.0	0.00	49260	-3126.1	-3126.1	-3126.1
hidruros	C ₈₄ H ₁₇₀	1180.50	0.00	1309.0	0.00	50260	-3167.1	-3167.1	-3167.1
hidruros	C ₈₅ H ₁₇₂	1194.53	0.00	1327.0	0.00	51270	-3208.1	-3208.1	-3208.1
hidruros	C ₈₆ H ₁₇₄	1208.56	0.00	1345.0	0.00	52290	-3249.1	-3249.1	-3249.1
hidruros	C ₈₇ H ₁₇₆	1222.59	0.00	1363.0	0.00	53320	-3290.1	-3290.1	-3290.1
hidruros	C ₈₈ H ₁₇₈	1236.62	0.00	1381.0	0.00	54360	-3331.1	-3331.1	-3331.1
hidruros	C ₈₉ H ₁₈₀	1250.65	0.00	1400.0	0.00	55410	-3372.1	-3372.1	-3372.1
hidruros	C ₉₀ H ₁₈₂	1264.68	0.00	1418.0	0.00	56470	-3413.1	-3413.1	-3413.1
hidruros	C ₉₁ H ₁₈₄	1278.71	0.00	1436.0	0.00	57540	-3454.1	-3454.1	-3454.1
hidruros	C ₉₂ H ₁₈₆	1292.74	0.00	1454.0	0.00	58620	-3495.1	-3495.1	-3495.1
hidruros	C ₉₃ H ₁₈₈	1306.77	0.00	1472.0	0.00	59710	-3536.1	-3536.1	-3536.1
hidruros	C ₉₄ H ₁₉₀	1320.80	0.00	1490.0	0.00	60810	-3577.1	-3577.1	-3577.1
hidruros	C ₉₅ H ₁₉₂	1334.83	0.00	1508.0	0.00	61920	-3618.1	-3618.1	-3618.1
hidruros	C ₉₆ H ₁₉₄	1348.86	0.00	1526.0	0.00	63040	-3659.1	-3659.1	-3659.1
hidruros	C ₉₇ H ₁₉₆	1362.89	0.00	1544.0	0.00	64170	-3700.1	-3700.1	-3700.1
hidruros	C ₉₈ H ₁₉₈	1376.92	0.00	1562.0	0.00	65310	-3741.1	-3741.1	-3741.1
hidruros	C ₉₉ H ₂₀₀	1390.95	0.00	1580.0	0.00	66460	-3782.1	-3782.1	-3782.1
hidruros	C ₁₀₀ H ₂₀₂	1404.98	0.00	1598.0	0.00	67620	-3823.1	-3823.1	-3823.1
hidruros	C ₁₀₁ H ₂₀₄	1419.01	0.00	1616.0	0.00	68790	-3864.1	-3864.1	-3864.1
hidruros	C ₁₀₂ H ₂₀₆	1433.04	0.00	1634.0	0.00	69970	-3905.1	-3905.1	-3905.1
hidruros	C ₁₀₃ H ₂₀₈	1447.07	0.00	1652.0	0.00	71160	-3946.1	-3946.1	-3946.1
hidruros	C ₁₀₄ H ₂₁₀	1461.10	0.00	1670.0	0.00	72360	-3987.1	-3987.1	-3987.1
hidruros	C ₁₀₅ H ₂₁₂	1475.13	0.00	1688.0	0.00	73570	-4028.1	-4028.1	-4028.1
hidruros	C								

(Continuación)

Composto	Formula	M ₀	Temp. de fusão (°C)	Temp. de ebulição (°C)	Calor de fusão (cal/g)	Calor de ebulição (cal/g)	Calor de vaporização (cal/g)	Calor de combustão (cal/g)
Acido acetico	CH ₃ COOH	60,05	16,6	117,9	2,91	12,7	10,79	130,6
Acido benzoico	C ₆ H ₅ COOH	122,12	122,12	249,3	2,91	12,7	10,79	130,6
Acido formico	CH ₂ OOH	46,03	8,3	100,8	2,91	12,7	10,79	130,6
Acido lactic	CH ₃ CH(OH)COOH	90,07	5,5	133,0	2,91	12,7	10,79	130,6
Acido malico	HOOCCH(OH)COOH	106,07	10,5	155,0	2,91	12,7	10,79	130,6
Acido oxalico	C ₂ H ₂ O ₄	90,04	10,5	189,0	2,91	12,7	10,79	130,6
Acido succinico	C ₄ H ₄ O ₄	116,07	133,0	271,0	2,91	12,7	10,79	130,6
Acido tartarico	C ₄ H ₆ O ₆	150,08	175,0	350,0	2,91	12,7	10,79	130,6
Alcool etilico	C ₂ H ₅ OH	46,07	-114,0	78,3	0,94	8,54	7,60	130,6
Alcool metilico	CH ₃ OH	32,04	-94,0	64,7	0,59	5,42	4,83	130,6
Alcool amilico	C ₅ H ₁₁ OH	88,15	-90,0	138,0	1,82	16,47	14,65	130,6
Alcool octilico	C ₈ H ₁₇ OH	129,17	-86,0	171,0	2,50	22,24	19,74	130,6
Alcool dodecilico	C ₁₂ H ₂₅ OH	171,26	-9,0	251,0	3,58	31,63	28,05	130,6
Alcool cetilico	C ₁₆ H ₃₃ OH	255,48	5,0	339,0	4,78	40,65	35,87	130,6
Alcool miristico	C ₁₄ H ₂₉ OH	227,34	-6,0	307,0	4,27	36,58	32,31	130,6
Alcool stearico	C ₁₈ H ₃₇ OH	284,50	5,0	376,0	5,35	45,60	40,25	130,6
Alcool aradico	C ₂₀ H ₄₁ OH	312,54	10,0	409,0	5,87	50,62	44,75	130,6
Alcool behenico	C ₂₂ H ₄₅ OH	340,58	15,0	442,0	6,39	55,64	49,25	130,6
Alcool lignolico	C ₂₄ H ₄₉ OH	368,62	20,0	475,0	6,91	60,66	54,27	130,6
Alcool erucico	C ₂₆ H ₅₃ OH	396,66	25,0	508,0	7,43	65,68	59,29	130,6
Alcool caprilico	C ₁₈ H ₃₇ OH	284,50	5,0	376,0	5,35	45,60	40,25	130,6
Alcool caprico	C ₁₆ H ₃₃ OH	255,48	5,0	339,0	4,78	40,65	35,87	130,6
Alcool caprilico	C ₁₄ H ₂₉ OH	227,34	-6,0	307,0	4,27	36,58	32,31	130,6
Alcool caprico	C ₁₂ H ₂₅ OH	171,26	-9,0	251,0	3,58	31,63	28,05	130,6
Alcool caprilico	C ₁₀ H ₂₁ OH	129,17	-16,0	171,0	2,50	22,24	19,74	130,6
Alcool caprico	C ₈ H ₁₇ OH	88,15	-90,0	138,0	1,82	16,47	14,65	130,6
Alcool caprilico	C ₆ H ₁₃ OH	46,07	-114,0	78,3	0,94	8,54	7,60	130,6
Alcool caprico	C ₄ H ₉ OH	32,04	-138,0	42,0	0,59	5,42	4,83	130,6

ANEXO 3 CAPACIDADES CALORIFICAS

Forma: $h = C_p (T - T_0) + \frac{1}{2} C_p (T_0^2 - T^2) + \frac{1}{6} C_p (T_0^3 - T^3)$
 donde: C_p es la capacidad calorífica en $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, T es la temperatura en $^\circ\text{C}$, T_0 es la temperatura de referencia en $^\circ\text{C}$.

Nota: La información para gases se refiere en forma calórica a presiones lo bastante bajas para que la ecuación de estado de los gases ideales sea válida.

Componente	Forma química	Peso molecular	Estado	Temperatura de ebullición, $^\circ\text{C}$	h a 10°C	h a 100°C	h a 1000°C	Entalpia total a 10°C
Acetileno	C_2H_2	26.04	G	-84	0.000	0.000	0.000	0.000
Acetona	CH_3COCH_3	58.08	L	56	0.000	0.000	0.000	0.000
Acido nítrico	HNO_3	63.02	L	8	0.000	0.000	0.000	0.000
Acido sulfúrico	H_2SO_4	98.08	L	-10	0.000	0.000	0.000	0.000
Aire	N_2	28.02	G	-196	0.000	0.000	0.000	0.000
Alcohol etílico (líquido)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46.07	L	78	0.000	0.000	0.000	0.000
Alcohol metílico (líquido)	CH_3OH	32.04	L	65	0.000	0.000	0.000	0.000
Amoníaco	NH_3	17.03	G	-33	0.000	0.000	0.000	0.000
Ácido	HCl	36.46	L	-85	0.000	0.000	0.000	0.000

(Continuación)

Elementos	U)	g	l	°C	132.44	10.25	-11.02	51.86	4-1200
Hidrógeno	H ₂	2.016	1	°C	20.20	0.00762	0.0000	0.0000	4-1300
Hidrógeno de carbono	C ₂ H ₄	28.10	1	°C	89.5			0.0000	280-373
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	20.46	30.17	-10.81	40.47	4-1300
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	82.88	25.04	-17.27	30.49	6-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	14.31	5.189	0.1664	-11.80	6-1300
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	14.87	5.051	1.368	-11.80	273-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	121.3	56.57	37.23	380.8	6-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	96.83	35.857	30.44	83.81	6-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	28.95	0.4110	0.2348	2.50	0-1300
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	28.95	0.4110	0.2348	2.50	0-1300
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	44.04	2.81	-4.57 x 10 ¹⁰	2.81	6-1300
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	45.14	0.5963	0.3712 x 10 ¹⁰	0.5963	273-1175
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	100.1	6.711	17.71 x 10 ¹⁰	6.711	273-3075
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	29.20	0.3398	5.0 x 10 ¹⁰	0.3398	273-1077
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	27.66	4.151	-2.581	10.57	0-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	20.19	1.158	0.6076	1.311	0-1300
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	135.4	81.08			0.34
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	114.8	33.09	18.95	43.20	0-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	86.15	27.59	13.11	38.71	0-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	30.200	1.721	30.17	31.60	0-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	93.10	12.08			273-313
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	73.7	12.5	0.113		0-300
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	142.8	32.4			0-114
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	91.18	35.09	27.86	19.33	0-1200
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	30.30	9.188	8.500	32.40	0-1000
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	245.9				273-324
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58.12	1	°C	33.51	1.517	0.3012	3.192	0-1300

Obtenido en parte de O. M. Thermodynamic Data, Principles and Correlations in Chemical Engineering, 3a. edición, G. E. Thoma, G. E. Thoma, Inc., Englewood Cliffs, N.J.

(Continuación)

Material	CALOR ESPECÍFICO c_p (J/kg·K) ^a	COEF. DE DILATACION α_l [(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶] ^b	CONDUCTIV. TÉRMICA k (W/m·K) ^c	$k \cdot D$ - W/K ² × 10 ⁻⁸
Metales				
Aluminio	900	23,6	247	2.24
Cobre	385	16,5	358	2.27
Oro	130	13,8	315	2.52
Hierro	448	11,8	80,4	2.66
Níquel	443	13,3	89,9	2.40
Plata	235	19,0	428	2.92
Tungsteno	142	4,5	178	3.24
Acero 1025	486	12,5	51,9	—
Acero inoxidable 316	502	16,0	16,3 ^d	—
Latón (70Cu-30Zn)	375	20,0	120	—
Cerámicas				
Alúmina (Al ₂ O ₃)	775	8,8	30,1	—
Óxido de berilio (BeO)	1050 ^d	9,0 ^d	220 ^e	—
Magnesia (MgO)	940	13,5 ^e	37,7 ^e	—
Espinela (MgAl ₂ O ₄)	790	7,6 ^d	15,0 ^f	—
Sílice vítrea (SiO ₂)	740	0,5 ^d	2,0 ^g	—
Vidrio de sosa y cal	840	9,0 ^e	1,7 ^e	—
Polímeros				
Poliétileno	2100	60-220	0,38	—
Polipropileno	1850	80-100	0,12	—
Poliestireno	1360	50-85	0,13	—
Polieterafluoretileno (Teflón)	1050	135-150	0,25	—
Fenol-formaldehído (Baquelita)	1650	68	0,15	—
Nilon 66	1670	80-90	0,24	—
Poliisopreno	—	220	0,14	—

Capacidades caloríficas (J/kg.K)		
Elemento	Sólido	Líquido
C	7.524	11.704
H	9.614	17.974
O	16.720	25.080
P	22.572	30.932
S	-	30.932
Si	16.6	-
Ca	26.9	-
Otros	25.916	33.44

ANEXO 4
ENTALPIAS ESPECÍFICAS DE GASES SELECTOS

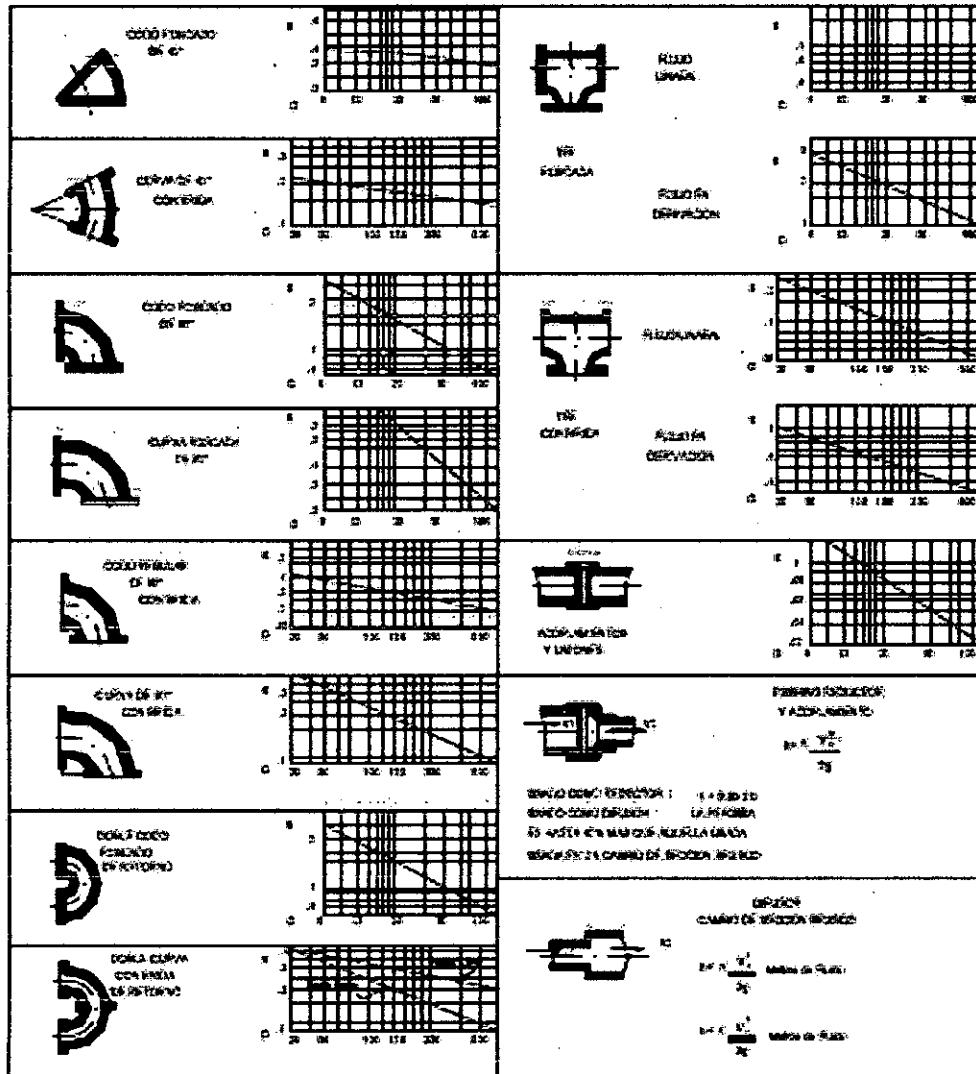
(En J/mol)
Entalpia específica C_p a $P_m = 1 \text{ atm}$, $T_m = 25^\circ\text{C}$

T	H_2	O_2	N_2	CO	CO_2	H_2O
0	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
100	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
200	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
300	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
400	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
500	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
600	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
700	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
800	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
900	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1000	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1100	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1200	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1300	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1400	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1500	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1600	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1700	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1800	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
1900	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8
2000	-84.7	-94.3	-93.9	-110.5	-393.5	-241.8

ANEXO 5
COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN TUBERIAS

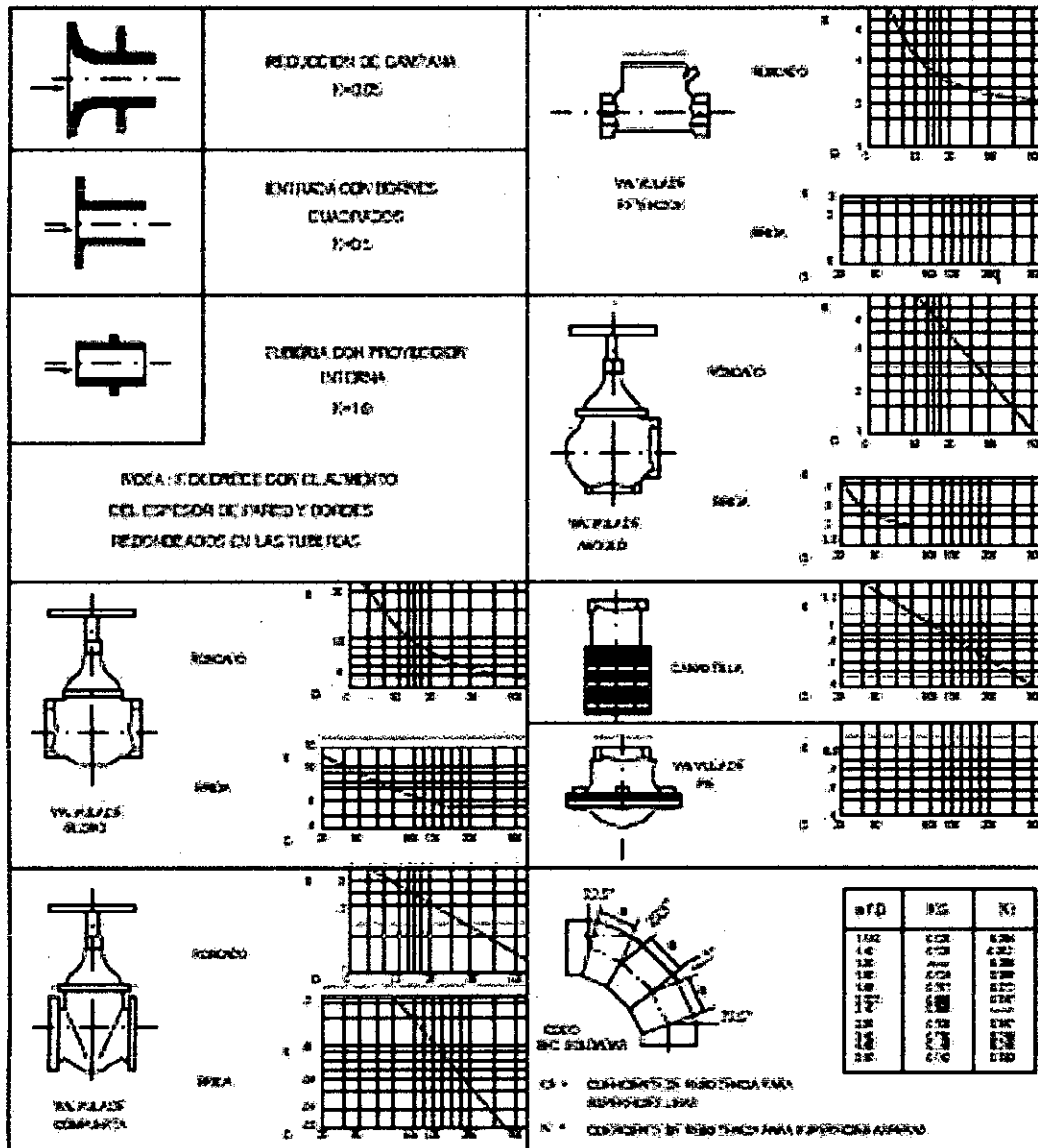
Material	Coefficiente n
Asbesto - Cemento	0.010
Concreto liso	0.012
Concreto áspero	0.016
Concreto presforzado	0.012
Acero galvanizado	0.014
Hierro fundido nuevo	0.013
Hierro fundido usado	0.017
Acero soldado sin revestimiento	0.014
Acero soldado con revestimiento interior a base de resinas epoxicas	0.011
P.V.C (cloruro de polivinilo)	0.009
Poliétileno de alta densidad	0.009

ANEXO 6 **COEFICIENTES DE RESISTENCIAS PARA VALVULAS Y UNIONES**



$D = \text{mm}$

$$h = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Metros de Pérdida}$$



D=25mm

$$h = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{Metros de Flujo}$$

ANEXO 7 DIMENSIONES DE TUBO DE FIBROCEMENTO



- Longitud nominal de los tubos 5 m
- D Diámetro Interior Nominal (mm)
 - T9 Esesor de la Pared (mm)
 - D9 Diámetro Exterior (") (mm)
 - D2 Diámetro Intermedio (mm)
 - D7 Diámetro Sección de Enchufe (mm)
 - D6 Diámetro Interior del Cople (mm)
 - D5 Diámetro de Ranura de Cople (mm)
 - D7 Diámetro Exterior del Cople (") (mm)

*Nota: Sujeto a tolerancia de fabricación.

La clase es igual a la presión máxima de trabajo expresada en kg/cm²

D	Diámetro nominal (mm)	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	Diámetro nominal (Pulg.)	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	28"	32"	36"	42"
CLASE A-5	D9-D8	57	118	167	210	274	328	375	420	464	508	620	720	820	920	1120
	D7	112	137	186	228	293	345	400	456	508	560	672	772	872	972	1172
	D6	125	157	208	252	325	372	423	467	510	550	660	760	860	960	1160
	D5	58	124	174	216	281	334	382	429	475	520	630	730	830	930	1130
	T9	110	142	170	210	255	302	345	385	425	465	575	675	775	875	1075
CLASE A-7	Peso tubo kg/m	6.6	8.4	11.2	14.8	19.0	23.2	27.5	31.8	35.8	39.8	48.0	56.0	64.0	72.0	88.0
	Peso cople kg/pz	2.5	3.2	4.0	5.2	6.5	7.8	9.2	10.5	11.8	13.2	15.5	17.8	20.0	22.2	27.5
	D9-D8	59	128	178	222	288	342	395	448	500	550	660	760	860	960	1160
	D7	114	139	188	232	298	352	405	458	510	560	670	770	870	970	1170
	D6	127	160	210	254	327	374	425	470	515	555	665	765	865	965	1165
CLASE A-10	D5	101	136	177	221	286	340	393	445	495	545	655	755	855	955	1155
	T9	110	142	170	210	255	302	345	385	425	465	575	675	775	875	1075
	Peso tubo kg/m	7.2	9.2	12.0	15.8	20.0	24.2	28.5	32.8	36.8	40.8	49.0	57.0	65.0	73.0	89.0
	Peso cople kg/pz	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0	23.0
	D9-D8	60	132	182	226	292	346	399	452	505	558	668	768	868	968	1168
CLASE A-14	D7	117	142	190	234	300	354	407	460	513	565	675	775	875	975	1175
	D6	130	162	212	256	330	374	427	480	533	585	695	795	895	995	1195
	D5	104	139	180	224	289	342	395	448	500	550	660	760	860	960	1160
	T9	112	144	172	212	257	304	347	387	427	467	577	677	777	877	1077
	Peso tubo kg/m	8.2	10.4	13.2	17.0	21.2	25.4	29.7	33.9	38.1	42.3	50.5	58.5	66.5	74.5	90.5
CLASE A-20	Peso cople kg/pz	2.6	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	13.2	15.2	17.2	19.2	23.2
	D9-D8	109	121	185	245	305	365	425	485	545	605	715	815	915	1015	1215
	D7	122	149	200	244	310	364	417	470	523	575	685	785	885	985	1185
	D6	135	167	218	262	336	380	433	486	539	592	702	802	902	1002	1202
	D5	110	147	188	232	297	350	403	456	509	562	672	772	872	972	1172
CLASE A-20	T9	115	147	175	215	260	307	350	390	430	470	580	680	780	880	1080
	Peso tubo kg/m	12.7	15.8	20.0	24.2	28.5	32.8	37.1	41.4	45.7	50.0	59.0	68.0	77.0	86.0	106.0
	Peso cople kg/pz	3.0	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	13.7	15.7	17.7	19.7	23.7
	D9-D8	112	137	186	228	293	345	400	456	508	560	672	772	872	972	1172
	D7	125	157	208	252	325	372	423	467	510	550	660	760	860	960	1160
CLASE A-20	D6	137	170	220	264	337	384	435	480	525	570	680	780	880	980	1180
	D5	107	142	183	227	292	345	398	451	504	557	667	767	867	967	1167
	T9	112	144	172	212	257	304	347	387	427	467	577	677	777	877	1077
	Peso tubo kg/m	12.7	15.8	20.0	24.2	28.5	32.8	37.1	41.4	45.7	50.0	59.0	68.0	77.0	86.0	106.0
	Peso cople kg/pz	3.0	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	13.7	15.7	17.7	19.7	23.7

ANEXO 8
NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE CALIDAD DE AIRE

PARAMETRO	CONCENTRACION MEDIA ARITMETICA DIARIA $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	CONCENTRACION MEDIA ARITMETICA ANUAL $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	CONCENTRACION MEDIA GEOMETRICA ANUAL $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ANHIDRIDO SULFUROSO	572 (0.2)*	172 (0.06)	-
PARTICULAS EN SUSPENSION	350*	-	150
PLOMO	-	0.5	-
ARSENICO	6	-	-

(*) No debe ser excedido mas de una vez al año

Además deberá considerarse:

- Concentración Mensual de Plomo = $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Concentración de Arsénico en 30 minutos = $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (no debe ser excedido más de una vez al año).

ANEXO 9
**NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION PARA LAS UNIDADES
MINERO – METALURGICA**






PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
ph	Mayor que 6 y Menor que 9	Mayor que 6 y Menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1.0	0.3
Zinc (mg/l)	3.0	1.0
Fierro (mg/l)	2.0	1.0
Arsénico (mg/l)	1.0	0.5
Cianuro total (mg/l) *	1.0	1.0

* CIANURO TOTAL, equivalente a 0.1 mg/l de Cianuro Libre y 0.2 mg/l de Cianuro fácilmente disociable en ácido.




ANEXO 10
VALORES MAXIMOS DE EMISIONES PARA LAS UNIDADES MINERAS EN
OPERACIONES O QUE REINICIAN OPERACIONES

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
ph	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5
Sólidos suspendidos (mg/l)	100	50
Plomo (mg/l)	1	0.5
Cobre (mg/l)	2	1
Zinc (mg/l)	6	3
Fierro (mg/l)	5	2
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro total (mg/l)	2	1


ANEXO 11
CODIGO DE COLORES DE MANEJO DE RESIDUOS

Residuos reaprovechables	
Residuos no Peligrosos	
Color amarillo 	Para metales: latas de conservas, café, leche, gaseosa, cerveza. Tapas de metal, envases de alimentos y bebidas, etc.
Color verde 	Para vidrio: Botellas de bebidas, gaseosas, licor, cerveza, vasos, envases de alimentos, perfumes, etc.
Color azul 	Para papel y cartón: Periódicos, revistas, folletos, catálogos, impresiones, fotocopias, papel, sobres, cajas de cartón, guías telefónicas, etc.
Color blanco 	Para plástico: Envases de yogurt, leche, alimentos, etc. Vasos, platos y cubiertos descartables. Botellas de bebidas gaseosas, aceite comestibles, detergente, shampoo. Enpaques o bolsas de fruta, verdura y huevos, entre otros.
Color marrón 	Para orgánicos: Restos de la preparación de alimentos, de comida, de jardinería o similares.

(Continuación)

Residuos peligrosos	
Color rojo 	Para peligrosos: Baterías de autos, pilas, cartuchos de tinta, botellas de reactivos químicos, entre otros.
Residuos no reaprovechables	
Residuos no peligrosos	
Color negro 	Para generales: Todo lo que no se puede reciclar y no sea catalogado como residuo peligroso: restos de la limpieza de la casa y del aseo personal, toallas higiénicas, pañales desechables, colillas de cigarrillos, trapos de limpieza, cuero, zapatos, entre otros.
Residuos peligrosos	
Color rojo 	Para peligrosos: Escofía, medicinas vencidas, jeringas desechables, entre otros.

ANEXO 12 ROMBO DE SEGURIDAD

	ROMBO DE SEGURIDAD
ROJO: Indica el grado de inflamabilidad de los materiales y el riesgo está clasificado del 0 al 4. 0 : Riesgo mínimo (no arden y es estable) 1 : Riesgo ligero y arde arriba de los 93.3 °C 2 : Riesgo moderado arde arriba de los 37.8 °C 3 : Riesgo alto arde arriba de los 23°C 4 : Riesgo severo arde abajo de los 23°C.	
AMARILLO: Indica el grado de reactividad de materiales. 0 : Riesgo mínimo - estable 1 : Riesgo ligero - inestable con calor 2 : Riesgo moderado - presenta cambios químicos violentos sin estallar. 3 : Riesgo alto - Explotan con grandes fuentes de ignición o reacciones violentamente 4 : Riesgo severo - Explotan a temperatura ambiente y presión normal.	
AZUL: Indica el grado de riesgo a la salud 0 : Riesgo mínimo (material normal) 1 : Riesgo ligero (riesgo leve) 2 : Riesgo Moderado (peligroso) 3 : Riesgo Alto (extremadamente peligroso) 4 : Riesgo Severo	
BLANCO: Se coloca los riesgos específicos.	

BIBLIOGRAFIA:

CAPITULO I

- 900 Spring St, Silver Información Técnica preparada por la National Ready Mixed Concrete Association. Recuperado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP30es.pdf>
- Dr Pisidhi Karasudhi, M.W.J.A. Silva y P.Nimityongskul; Estado actual de la investigación y recatividad del cemento de ceniza de cáscara de arroz, Instituto de Tecnología Asiático, P.O. Box 2754, Bangkok, Thailand, pag 223
- Monografía presentada por Efraín Velásquez Mamani de la asignatura de Estadística General, Universidad Peruana Unión Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil, Juliaca 12 de Noviembre de 2012. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos94/caracteristicas-historia-del-cemento/caracteristicas-historia-del-cemento.shtml>
- Monografía presentada por Efraín Velásquez Mamani de la asignatura de Estadística General, Universidad Peruana Unión Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil, Juliaca 12 de Abril de 2012. Recuperado de http://www.catacement.eudata.be/epub/easmet.dll/execreq/page?eas:dat_im=001BFB&eas:template_im=001BFB
- Consulta del código del producto de la SUNAT Superintendencia Nacional de Administración Tributaria. Recuperado de <http://www.aduanet.gob.pe/itarancel/arancelS01Alias>
- Consulta de importaciones y exportaciones del producto de la SUNAT Superintendencia Nacional de Administración Tributaria. Recuperado de <http://www.aduanet.gob.pe/cl-ad-itestadispartida/resumenPPaisS01Alias>

CAPITULO II

- Gobierno Regional de Lambayeque.
http://ot.regionlambayeque.gob.pe/sistema/capa_presentacion/img/subida/proyectos/pdf/012HIDROGEOLOGICO.pdf
- Gobierno Regional de Piura.
<http://drem.regionpiura.gob.pe/files/SITUACION%20ENERGETICA%20DE%20PIURA%2012.pdf>
- Osinergmin sede Tumbes.
<http://www.osinergmin.gob.pe/newwebuploads/publico/oficinacomunicaciones/EventosRealizados/ForoTumbes/3/9.%20Resultados%20de%20la%20Supervision>
- Aguas de Tumbes. <http://www.aguasdetumbes.com/index.php/es/empresa/reserva-historica>

- Aguas de Chiclayo. <http://es.scribd.com/doc/137002500/Abastecimiento-de-Agua-Potable-en-chiclayo-1>
- Departamento de Piura. <http://www.mtc.gob.pe/Portal/logypro/Departamentos0607/Piura.pdf>

CAPITULO III

- Enrique Quispe Oqueña, Juan Vidal Medina, Yuri López Castrillón, Ahorro de energía en la industria del cemento de la Universidad Autónoma de Occidente-Colombia. Recopilado de <http://www.lemona.biz/EL%20CEMENTO-1/historia%20del%20CEMENTO.pdf>
- Lección del cemento: Lección 4 preparación de las materias primas. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.Preparacion.MateriasPrimas.pdf>
- Lección del cemento: Lección 7 hidratación del cemento. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidrataciónCEMENTO.pdf>
- Lección del cemento: Lección 15 molienda del secado. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion15.SECADO.MoliendaSECADO.pdf>
- Lección del cemento: Lección 14 molienda del crudo. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion14.CEMENTOS.MoliendaCrudo.INTRODUCCION.pdf>
- Lección del cemento: Lección 19 pre-calcinación. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion19.CEMENTOS.Precalcinacion.ReduccionSO2.pdf>
- Lección del cemento: Lección 23 proceso de cocción. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion23.proceso.cocción.pdf>
- Lección del cemento: Lección 10 adiciones de materiales. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.CEMENTOS.MaterialesAdiciones.pdf>

CAPITULO IV

- Dra Rosaura Vásquez, Bach Patricia Vigil, Cementos Pacasmayo SAA, de la UDEP Universidad de Piura, pag 3. Recopilado de http://www.aai.com.pe/files/instituciones_no_financieras/cementos_pacasmayo/ca/cementospacasmayo_ca.pdf
- Lección del cemento: Lección 1 generalidades del cemento Portland. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.cementoPortland.GENERALIDADES.B.pdf>

CAPITULO V

- Juan Alcántara Valladares (2008), Diseño práctico de un molino de bolas, Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Recopilado de <http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/107/1/TESIS%20juan%20Ramon%20Alcantara%20Valladares%20%20MOLINO%20DE%20BOLAS.pdf>
- Walter Duda H, Manual tecnológico del cemento (1977) Técnicos Asociados SA
- Alvaro Arnal Mañas (2010), Instalación para la producción de cemento Portland, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, pag 173. Recopilado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcib151d/doc/bmfcib151.pdf>
- Oscar Donoso Baquerizo (2010), Pruebas Experimentales en un filtro de mangas tipo pulse jet del laboratorio de calidad de aire de la FIMCP, Escuela Superior Politécnica del litoral- Ecuador. Recopilado de <http://www.aftermarketsuppliers.org/Councils/Filter-Manufactures-Council/TSBs-2/Spanish/02-2S.pdf>

CAPITULO VI

- Monografía de Tecnología del hormigón. Recopilado <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/tfragT2.htm>
- Miguel. A de Aquín, Manual de calidad ISO 9001:2008, setiembre del 2010. Recopilado <http://www.cemartigas.com.uy/Manual%20de%20calidad.pdf>
- Boletín Cemento y Concreto, Control de calidad del cemento. Recopilado <http://www.adocem.org/capacitacion-y-publicaciones/boletin-tecnico/1829-control-de-calidad-del-cemento.html>
- Norma Técnica Peruana 334.090.2013, CEMENTOS. Cemento Portland adicionados. Requisitos.
- Alan Hernández García, Monografía control de calidad de concreto hidráulico en obras, marzo 2012. Recopilado <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/33076/1/hernandezgarciaalan.pdf>

CAPITULO VII

- Mary Emily B, Monografía de Inversión, setiembre del 2010. Recopilado <http://www.monografias.com/trabajos12/cntbtres/cntbtres.shtml>

- Ortiz Aragón Alfredo; Rivero Guillermo, Estructuración de costos: Conceptos y Metodología, junio 2006. Recopilado
http://www.rootchange.org/about_us/resources/publications/Estructuracion_costos_conceptos_metodologia.pdf
- Ejemplo de Costos por proyecto, Sistema de control integral. Recopilado
<http://www.cinap.cl/erp-ejemplo-constructora.pdf>
- Análisis de costo del proyecto. Recopilado
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/795/6/CAPITULO%20V.pdf>
- Max Peters; Klaus Timmerhus; Diseño de plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos.

CAPITULO VIII

- Normas legales, Resolución de Superintendencia N° 277-2009/SUNAT. Recopilado
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2009/DICIEMBRE/R%20260-2009-OS%20CD.pdf>
- Normas legales, Resolución de consejo directivo organismo supervisor de la inversión en energía y minería OSINERGMIN N° 013-2010-OS/CD. Recopilado
http://www.oefa.gob.pe/dioefa/wp-content/uploads/2012/08/RCD_N013-2010-OS-CD.pdf
- Normas legales, Decreto Supremo N° 055-2010-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería. Recopilado
<http://www.isem.org.pe/DS%20055-2010-EM.pdf>
- Normas legales, Resolución Ministerial N° 161-2007-MEM/DM Reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo de las actividades Eléctricas. Recopilado
http://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/11790/PLAN_11790_Reglamento%20SSTAE_2010.pdf
- Norma Técnica Peruana 399.009.1974 Colores patrones utilizados en señales y colores de seguridad, 1° Edición 1974-11-28. Recopilado
<http://www.bvindecopi.gob.pe/normas/399.009.pdf>

CAPITULO IX

- Normas legales, Decreto Supremo N° 074-2001-PCM Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire. Recopilado <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/publicaciones/compendio99/D.S%20074-2001-PCM.pdf>
- Jorge Gutiérrez Sisniegas, Sumario La contaminación del aire por emisiones gaseosas y su regulación en el Perú. Recopilado <http://www.teleley.com/revistaperuana/4gutierrez-65.pdf>
- Normas legales, Decreto Supremo N° 044-98-PCM Reglamento nacional para la aprobación de estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles. Recopilado <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/Legislacion/Peru/DS044-98-PCM.pdf>
- Normas legales, Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Recopilado http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf
- Monografía Agua para consumo. Recopilado <http://html.rincondelvago.com/agua-para-el-consumo.html>

CAPITULO X

- Compendio de Normas legales, Proceso de saneamiento físico legal de los bienes inmuebles de las entidades del sector salud. Recopilado <http://www.minsa.gob.pe/dgiem/cendoc/pdfs/Saneamiento%20Fisico%20Legal%20bienes%20e%20inmuebles%20del%20Sector%20Salud.pdf>